

Mus. Th.

2137

Fiche

Mus. Th.

2137

Mach

Xerokopieren aus konservato-
rischen Gründen nicht erlaubt
Nur im Lesesaal benutzbar

Einleitung
in die
Helmholtz'sche Musiktheorie.

Populär für Musiker dargestellt

von

Ernst Mach,

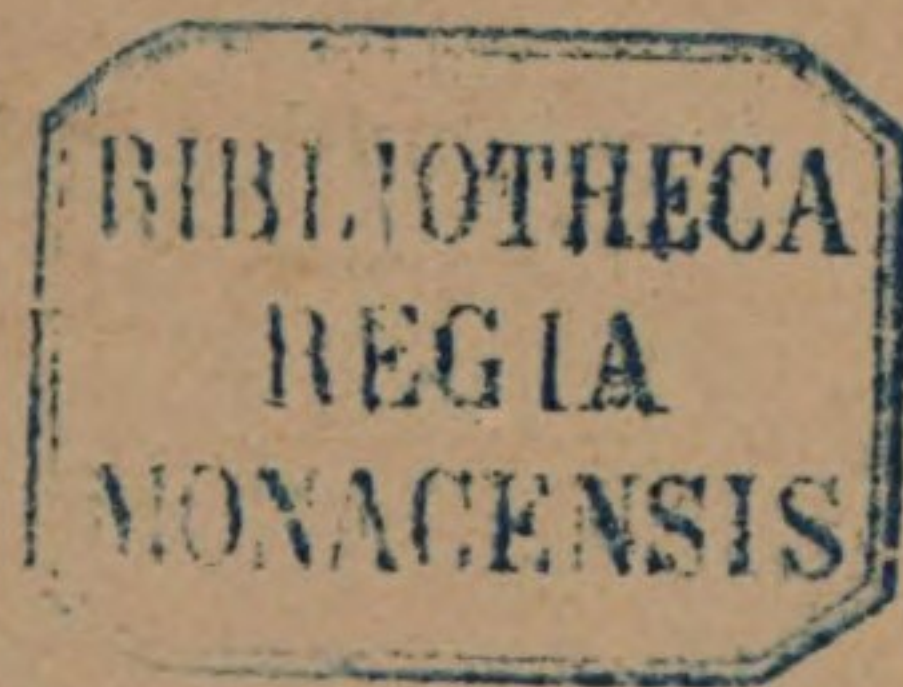
o. ö. Professor der Physik an der Universität zu Graz.

Mit 14 Holzschnitten im Text und zwei Tafeln.

Graz,

Verlag von Leuschner und Lubensky,
k. k. Univ.-Buchhandlung.

1866.



Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

Dem Musikhistoriker

Dr. A. W. A m b r o s

hochachtungsvoll

gewidmet

vom Verfasser.

V o r w o r t.

Seit dem Erscheinen des Helmholtz'schen, für die Musiktheorie so wichtigen Werkes (Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig, 1863) habe ich mir vielfach Mühe gegeben, dasselbe durch Vorlesungen in den Kreisen der Musiker populärer zu machen.

Ich stiess jedoch hierbei bald auf bedeutende Schwierigkeiten. Gerade das, was mir als Naturforscher recht wichtig schien, wurde von den Musikern mit grosser Gleichgültigkeit aufgenommen und verdarb ihnen, wie ich glaube, sogar den Geschmack an dem, was für sie verwerthbar gewesen wäre.

Durch diesen Umstand wurde ich nach und nach zu einer andern Behandlung und Darstellung des Gegenstandes hingeführt, von welcher ich, nach den später erzielten günstigen Erfolgen zu urtheilen, glauben muss, dass sie den Bedürfnissen des Musikers angemessen sei. Die Eigenthümlichkeiten meiner Darstellungsweise lassen sich aber in folgende Punkte zusammenfassen.

1. Jede nicht streng zur Sache gehörige physikalische Theorie wurde vermieden. Von physikalischen Thatsachen wurde nur so viel beigebracht, als zum Verständniss der Musiktheorie unumgänglich nöthig ist. Diese Thatsachen

wurden aber in einer Form dargestellt, unter welcher sie überall ohne besondere Veranstaltungen mit der grössten Leichtigkeit beobachtet werden können. So wird das Wachsen der Tonhöhe bei steigender Schwingungszahl an dem rauhen Deckel eines Buches, die Fortpflanzung des Schalles an einer Reihe von Münzstücken*) demonstriert. Physikalische Apparate kommen eigentlich gar nicht zur Anwendung, wenn man nicht Clavier und Harmonium so nennen will.

2. Auch die elementarste Rechnung ist so viel wie möglich vermieden. Statt derselben wird ein höchst einfaches Modell verwendet, das mir stets gute Dienste geleistet hat. Die wissenschaftliche Grundlage, auf der dies Modell beruht, habe ich an einem andern Orte dargelegt.**)

3. Endlich wurden von der Helmholtz'schen Theorie nur die Hauptpunkte herausgehoben. Es ist dies nöthig, damit der Nichtphysiker bei der Masse der Details nicht den Faden verliere.

Obgleich nun dies Heftchen dem Obigen gemäss sich unter die populären Schriften einreihet, so habe ich mir doch erlaubt, hier und da anzudeuten, inwiefern ich die Grundlagen der physikalischen Musiktheorie für nicht ausgebaut halte.

Die Aufmerksamkeit habe ich mehr physikalisch oder physiologisch aufgefasst, als dies Helmholtz zu thun scheint, der sie mehr im rein psychologischen Sinne nimmt, und habe dieselbe mit dem Tonhörensinn in Zusammen-

*) In meinen physikalischen Vorlesungen zeige ich auch die Brechung und Reflexion des Schalles an einer Reihe grosser Münzstücke, welche an eine Reihe kleinerer stösst.

**) Schlömilch's Zeitschrift für Mathematik und Physik. 1864.

hang gebracht. Die merkwürdige Thatsache, dass man den Satz 1 je nach Willkür bald wie 2, bald wie 3 klingend



hören kann, ist gewiss der Beachtung werth und deutet mir auf eine physikalische Veränderung im Ohre während des Hörens, analog der Accomodation des Auges.

Ebenso habe ich hervorgehoben, dass das Wiedererkennen jeder Quarte als Quarte, jeder Quinte als Quinte u. s. f., kurz der Intervallensinn, durch die Helmholtz'sche Theorie keineswegs erklärt sei.

So fundamentale Thatsachen können nun für die Physiologie des Hörens und also auch für die Musiktheorie nicht gleichgiltig sein. Es gehört gewissermassen zur Ehrlichkeit, ihrer selbst in einer elementaren Darstellung zu erwähnen.*)

Indem mich nun diese Vorträge einiges Nachdenken und einige Mühe gekostet haben und indem die Musiktheorie nur durch das eifrige Zusammenwirken der Musiker und Physiker zur Vollendung gelangen kann, glaube ich etwas Nützliches zu thun, wenn ich sie in Kürze veröffentliche. Ich wünsche auch mit diesen Blättern nicht mehr zu erreichen, als dass mancher Musiker die erste Scheu vor dem Studium des Helmholtz'schen Werkes überwinden möge.

*) Näheres hierüber in meinen Abhandlungen, Sitzungsberichte der Wiener Akademie 1862—65. — Vgl. auch meine „populären Vorlesungen über musikalische Akustik“. Graz 1865.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1
Der Schall	5
Der Klang	12
Das musikalische Hören	19
Die Klangfarbe	31
Die Verwandtschaft der Klänge	36
Der Zusammenklang	46
Die Harmonie	62
Die Harmoniefolge und die Stimmführung	83
Die reine und die temperirte Stimmung	88

Einleitung.

Materieller und geistiger Verkehr ist ein Zeichen unserer Zeit. Länder, die sich bisher ferngestanden, tauschen durch die Eisenbahnen ihre Producte aus und treten durch die Telegraphen in raschen Ideenverkehr. Wissenschaften, welche sich unabhängig von einander entwickelt, ja sich gewissermassen feindlich gegenüber gestanden haben, fangen an von einander Notiz zu nehmen, wechselseitig in einander unterstützend einzugreifen. Letztere Erscheinung dürfte wesentlich bedingt sein durch die gegenwärtige Leichtigkeit des Verkehrs unter den Gelehrten mit Hilfe des gedruckten Wortes, und namentlich durch die zahlreichen wissenschaftlichen Zeitschriften.

Epochemachende Verbindungen scheinbar sehr ungleichartiger Wissenschaften sind heute nicht mehr selten. Wir erinnern nur an die Einführung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Methode in die Psychologie durch Herbart, an die naturwissenschaftliche Behandlung der Politik, Statistik und Nationalökonomie durch Mill, Quételet u. A., an die Vereinigung der Physik und Psychologie zur Psychophysik durch Fechner. Solcher Beispiele gibt es viele.

Ein solches Beispiel ist auch die von mir zu behandelnde Helmholtz'sche Musiktheorie, welche die Gesetze der Tonkunst auf einfache physikalische und physiologi-

sche Gesetze gründet, die Akustik, die Musiktheorie und die Aesthetik in Verbindung bringt.

Das Wissen aller Zeiten hat immer aus mehreren Theilen bestanden. Ein Theil ist allgemein verbreitet, populär, wie man zu sagen pflegt. Ein zweiter Theil ist in der wissenschaftlichen Literatur niedergelegt und insofern nur den Gelehrten zugänglich. Ein dritter Theil aber lebt in den Köpfen der Gelehrten, gehört lange Zeit so zu sagen zu ihrem Privateigenthum, bevor er sich in die Oeffentlichkeit, in die Literatur hinauswagt.

Sehr selten wohl wird ein ganz neuer Gedanke in einem wissenschaftlichen Werke ausgesprochen. Meist sind es Ideen, welche schon längere Zeit, und oft von mehreren Forschern zugleich heimlich gepflegt wurden, welche man in einem neuen Werke antrifft. Daher meint wohl Mancher, es liege da nichts Neues vor, dies hätte auch er schon gedacht, dies hätte auch er schon gefunden u. s. w. Es ist dies nicht ganz unrichtig. Nur darf man nicht vergessen, dass doch ein grosser Unterschied besteht. Man kann eine wissenschaftliche Ansicht lange als Vermuthung mit sich herumtragen, und sie ist vielleicht richtig. Dabei wird es aber doch immerhin als eine wissenschaftliche That zu betrachten sein, wenn ein Anderer diese Ansicht so klar ausspricht und begründet, dass sie nicht mehr wohl angefochten werden kann, dass sie aufhört eine Vermuthung zu sein.

Gehört einmal ein Stück Wissenschaft der Literatur an, so bleibt noch die zweite Aufgabe übrig, dasselbe wo möglich populär zu machen. Auch diese zweite Arbeit hat ihre Wichtigkeit, hat ihre Schwierigkeit. Sie hat ihre Wichtigkeit, denn abgesehen davon, dass die Verbreitung des Wissens den Werth desselben erhöht, ist es für die

weitere Entwicklung der Wissenschaft selbst nicht gleichgiltig, wieviel Wissen bereits ins Publicum gedrungen ist. Sie hat ihre Schwierigkeit, denn man muss zunächst den Boden genau kennen, auf welchen man das Wissen verpflanzen will.

Es ist eine sehr verbreitete aber falsche Ansicht, dass Kinder nicht fähig seien, scharfe Begriffe zu bilden und richtig zu schliessen. Das Kind ist oft verständiger als sein Lehrer. Das Kind vermag sehr wohl zu fassen, wenn man ihm nur nicht zu viel Neues auf einmal bietet, wenn man nur das Neue an das Alte gehörig anknüpft. Der Erwachsene ist dem vollständig Neuen gegenüber Kind, selbst der Gelehrte ist Kind dem fremden Fache gegenüber. Das Kind ist überall Kind, weil ihm eben alles neu ist. In der Vermeidung des vielen Neuen besteht die Kunst des Popularisirens.

Helmholtz hat seine Musiktheorie auf Physik wie Physiologie gegründet, er hat eine Arbeit ausgeführt, welche seit langer Zeit her durch die Untersuchungen von Rameau, Scheibler, Young, Schmith Robert, Ohm, Seebeck u. A. vorbereitet war. Er hat sie so begründet, dass ihre Richtigkeit in den wesentlichsten Zügen nicht mehr in Zweifel steht.

Die Lectüre des Helmholtz'schen Werkes hat jedoch für den Musiker, für welchen es zunächst bestimmt ist, ihre Schwierigkeit. Freilich wer zufällig Physiker und Musiker zugleich ist, wird das Werk sehr klar und leicht finden. Anders muss jedoch dem zu Muthe sein, welchem physikalische Betrachtungen fremd sind. Er findet auf jeder Seite Neues in Fülle, er weiss dies nicht zu ordnen, das Wesentliche vom Unwesentlichen nicht zu scheiden und verliert zuletzt den Faden. Wer sich nicht durch persön-

lichen Umgang und mündliche Besprechungen überzeugt hat, wie selbst hochgebildeten Musikern physikalische Anschauungen ganz fremd sind, dem dürfte die Bemerkung von Marx über das Helmholtz'sche Werk (Musiklehre, 7. Auflage, S. 139) zur Begründung dieser Ueberzeugung genügen. Kurz, es ist in dieser Richtung noch nicht Alles gethan, was zu leisten ist. Das Helmholtz'sche Werk ist nicht für Musiker geschrieben, oder vielmehr die Musiker für das Helmholtz'sche Werk sind noch nicht da. Es ist dies ein Uebelstand, welcher in der Natur der Sache liegt und woran die Musiker keineswegs Schuld tragen.

Durch diese Ueberlegungen veranlasst habe ich nun in dem Folgenden versucht, die schönen Untersuchungen von Helmholtz jenem Kreise zugänglicher zu machen, für welchen sie eigentlich bestimmt sind. Ich habe diejenigen Punkte herausgehoben, welche für den Musiker wichtig und praktisch sind. Alles Physikalische und nicht streng zur Sache Gehörige wurde möglichst vermieden. Ueberall wurden die dem Musiker geläufigen Vorstellungen zu Hilfe gezogen. Die Darstellung bewegt sich in möglichst musikalischer Sprache.

Gelingt es auf diese Weise vorerst nur die Hauptpunkte der Helmholtz'schen Theorie den Musikern geläufig zu machen, ist die Brücke zwischen Physikern und Musikern einmal gebaut, das Uebrige wird sich von selbst finden.

Der Schall.

Fast jede Veränderung in der materiellen Welt gibt Veranlassung zu Gehörsempfindungen, erregt Schall. Immer sind es Bewegungen der Massen, welche sich dem Ohre bemerklich machen. Wir können uns nur schwer bewegen ohne hörbar zu werden. Die festen, flüssigen, luftförmigen Körper geben bei ihrer Bewegung Schall von sich. Der fahrende Wagen rasselt, der über den Fels stürzende Wasserfall rauscht, die bewegte Luft saust. Die Glocke, die Saite, die Stimmgabel tönt, wenn sie angeschlagen oder gestrichen, die Pfeife tönt, wenn sie angeblasen wird. Das Reich des Schalles ist ein so grosses, weil kaum eine Veränderung in der Natur ohne Massenbewegung vorgeht und letztere meist hörbar wird.

Schon die mannichfaltigen Namen Schall, Geräusch, Getöse, Gepolter, Gerassel, Klang, Ton bezeugen, dass es sehr verschiedene Arten von Gehörsempfindungen gebe. Dem aufmerksamen Beobachter, welcher sein Gehör geübt hat, wird es jedoch nicht entgehen, dass die so verschiedenen Gehörsempfindungen nicht alle gleich einfacher Natur sind, sondern dass einige aus anderen sich zusammensetzen und umgekehrt schon durch das blosse Ohr sich in diese einfacheren Bestandtheile zerlegen lassen.

Diejenige Gehörsempfindung, welche sich schon bei oberflächlicher Betrachtung als verhältnissmässig einfach erweist, ist der Klang. Man kann leicht bemerken, dass

ein Geräusch eigentlich nichts Anderes sei, als eine grosse Menge sehr verschiedener Klänge, welche fort und fort wechseln. Man hört auch bei nöthiger Aufmerksamkeit aus einem Geräusch deutlich eine Reihe ungleich hoher Klänge heraus, welche rasch stärker oder schwächer werden, oder ganz verschwinden, wo dann andere Klänge an ihre Stelle treten, die sich ebenso verhalten. Umgekehrt kann man auch ein Geräusch erzeugen, wenn man viele ungleich hohe Klänge zugleich erregt und etwa mit denselben noch wechselt. So entsteht entschieden ein Geräusch, wenn man an einer Orgel, Physharmonica oder am Clavier eine grosse Anzahl Tasten ohne Auswahl niederdrückt, von welchen jede einzelne für sich einen Klang gibt. Man kann aus einem solchen Geräusch wieder mit einiger Mühe die einzelnen Klangbestandtheile heraushören.

Im Gerassel des Wagens hört man deutlich viele hohe und tiefe kurz abgebrochene Klänge, welche rasch mit andern wechseln. Das Gleiche wird beim Rauschen des Wasserfalls und einer Mühle, beim Geklirre von Gläsern, bei irgend einem Gepolter gelingen. Ein Knall ist ein sehr starker und rasch abbrechender Klang, der meist deutlich eine bestimmte Höhe hat.

Was ein Klang für eine Empfindung sei lässt sich nicht weiter beschreiben und definiren. Klang ist die Bezeichnung einer allgemein bekannten Gehörsempfindung, wie sie z. B. entsteht, wenn eine Taste eines rein gestimmten Claviers oder einer Orgel angeschlagen wird. Diese Empfindung bleibt durch die ganze Zeit ihres Bestehens von derselben Beschaffenheit. Andere Arten von Schallempfindungen sind wie gesagt nicht so einfach, indem sie sich eben aus Klängen zusammensetzen.

So verschieden als die Arten der Gehörsempfindung,

so verschieden sind die Bewegungen, durch welche erstere erregt werden. Gleichwohl ist es doch nur eine gewisse Art von Bewegungen, welche Schall erzeugt. Zunächst wollen wir jene Bewegung kennen lernen, welche dem Klang als dem verhältnissmässig einfachsten Schall entspricht.

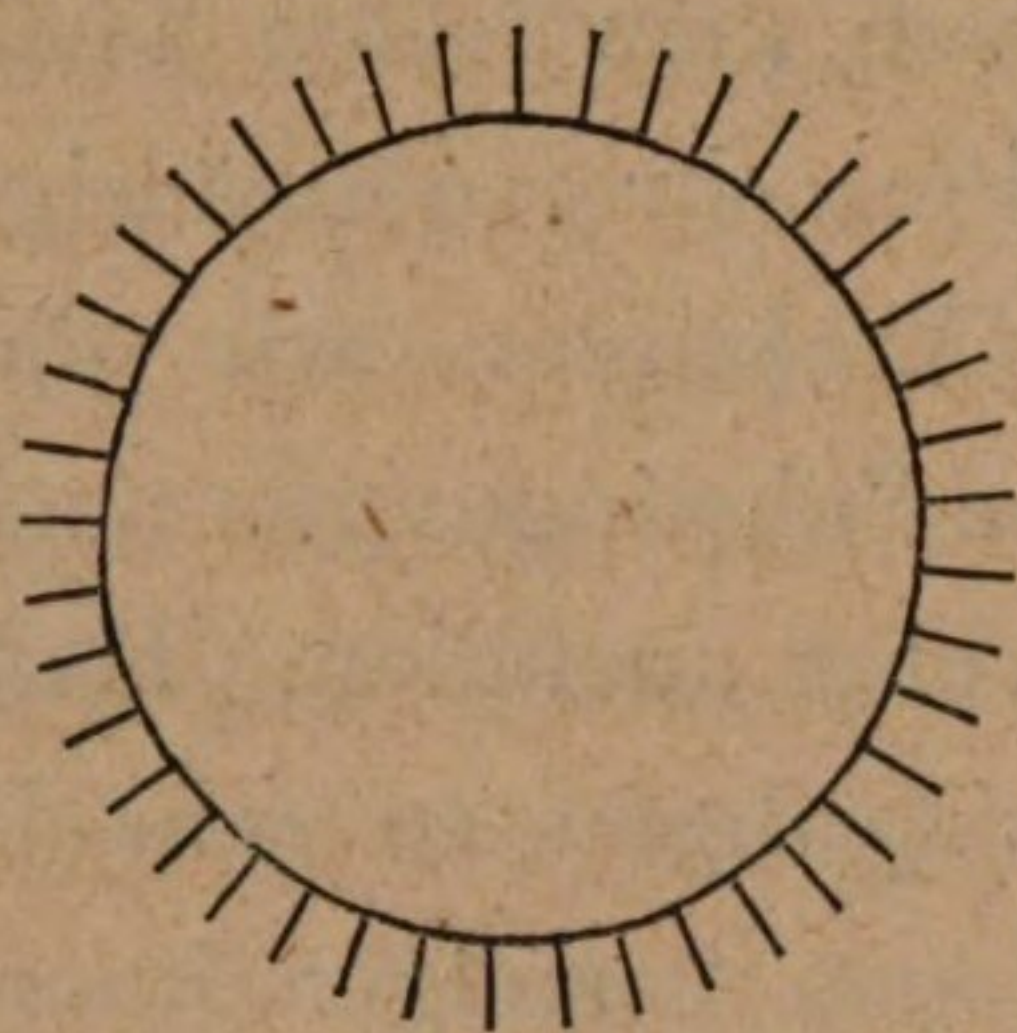
Nehmen wir einen ziemlich langen und dicken Stahldraht, wie derselbe etwa zu Stricknadeln verwendet wird. Wir legen denselben flach auf den Tisch, so dass etwa ein 2' langes Stück über den Rand hervorragt, drücken das aufliegende Ende fest an und versetzen dem freien Theil einen Schlag. Dann sehen wir dasselbe sehr regelmässige langsame Schwingungen ausführen. Verkürzen wir das freie Ende des Stabes, so werden diese Schwingungen noch immer taktmässig bleiben, aber rascher ausfallen. Endlich werden diese taktmässigen Schwingungen so schnell, dass man sie nicht mehr mit den Augen verfolgen kann, dass sie aufhören sichtbar zu sein, und dann machen sie sich durch einen tiefen Klang bemerkbar. Der Klang wird desto höher, je kürzer der Stab und je rascher die Schwingungen.

Regelmässige taktmässige Schwingungen erzeugen also einen Klang, welcher desto höher erscheint, je rascher sich die Schwingungen folgen. Die taktmässigen Stösse, welche der Luft vom schwingenden Körper beigebracht werden, sind hiebei die Hauptsache. Man kann sich davon durch sehr einfache Versuche überzeugen. Nimmt man ein Buch, dessen Deckel mit feingerippter Leinwand überzogen sind, und fährt mit dem Fingernagel rasch und gleichförmig über dieselbe hin, so hört man deutlich einen rauhen Klang. Derselbe ist höher, wenn die Bewegung des Fingers rascher, tiefer, wenn sie langsamer geschieht. Hierbei schwingt nun eigentlich kein Körper, sondern der Fingernagel übt Stösse

auf die Vorsprünge der Leinwand aus, diese sich rasch folgenden taktmässigen Stösse pflanzen sich durch die Luft bis zum Ohre fort und verursachen die Empfindung eines Klanges. Die taktmässigen Stösse sind also die Hauptsache.

Die Physiker haben dieselbe Ansicht noch durch viele andere elegantere Experimente zu stützen versucht und zu diesem Zwecke sehr sinnreiche Apparate construiert, von welchen wir die einfachsten erwähnen wollen. Ein solcher

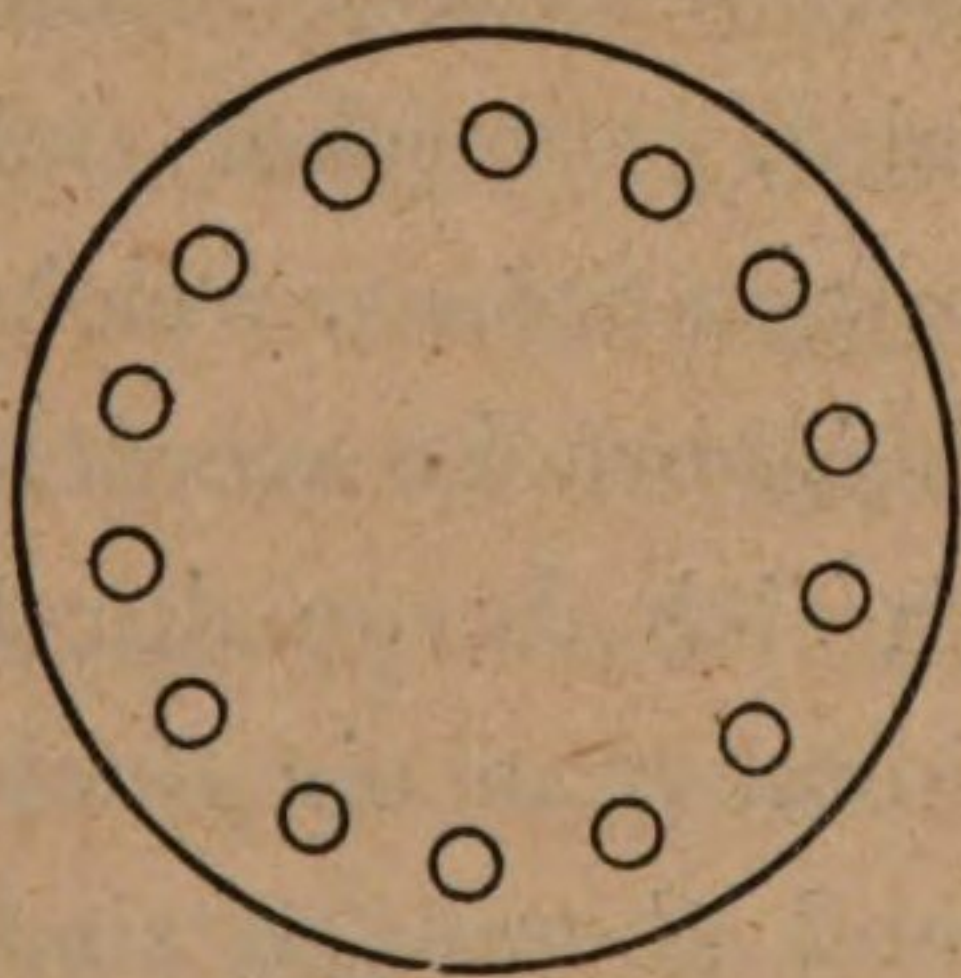
Fig. 1.



Apparat ist das Savart'sche Rad, so genannt nach seinem Erfinder. Es ist ein mit vielen Zähnen versehenes Metallrad (Fig. 1), welches mit Hilfe eines Schnurlaufes und einer Kurbel rasch um seine Axe gedreht wird. Hält man während der Drehung ein steifes Kartenblatt an die

Zähne, so dass dieselben fort und fort anschlagen, so hört man einen Klang, dessen Höhe fort und fort steigt, so wie die Umdrehung rascher wird. Ein zweiter Apparat dieser

Fig. 2.



Art ist Seebeck's Sirene. Sie besteht aus einer Scheibe (Fig. 2), welche wie das Savart'sche Rad um die Axe gedreht wird. Die Scheibe enthält eine Anzahl gleichweit von einander abstehender Löcher. Bläst man nun während der Drehung mit einem Röhrchen durch die Löcher,

so geht die Luft nur stossweise und taktmässig durch, die umgebende Luft wird in taktmässige Stösse versetzt. Es entsteht wieder ein Klang, dessen Höhe mit der Zahl der Umdrehungen und der Zahl der Löcher in der Sirenscheibe wächst.

Immer sind es regelmässige Stösse, welche sich in ganz gleichen Zeitabschnitten folgen, welche einen Klang erzeugen. Und dies findet bei allen Körpern statt, die klingen. Glocken, Saiten, Stäbe, Pfeifen u. s. w. bringen der Luft, wie die Physik durch sehr sinnreiche Methoden nachgewiesen hat, sobald sie klingen, ganz regelmässige Stösse bei.

Ein Bleikügelchen, welches wir an einen Faden hängen, schwingt, sobald seine Ruhe gestört wird, taktmässig hin und her. Es schwingt schneller wenn der Faden kürzer, langsamer wenn er länger ist. Aehnlich wie dies Bleikügelchen an einem Faden verhalten sich noch sehr viele Körper. Gespannte Saiten schwingen auch wenn sie angeschlagen werden, und zwar lange Saiten im Allgemeinen langsamer als kurze. Glocken, Stäbe, Pfeifen schwingen meist desto rascher, je kleiner sie sind. Kleinere Körper geben im Allgemeinen höhere Klänge.

Ein Geräusch entsteht, wie wir bereits wissen, wenn wir viele Klänge zugleich angeben. Was für eine Bewegung wird es also sein, die ein Geräusch erzeugt? Offenbar eine sehr unregelmässige. Denn jedem einzelnen Klange entsprechen taktmässige Stösse, aber je nach der Höhe folgen sich die Stösse langsamer oder rascher. Wenn also eine sehr grosse Anzahl solcher taktmässiger Stösse, aber von verschiedenem Tempo zusammenwirkt, so muss nothwendig ein sehr unregelmässiges Gewirre von Stössen entstehen. Dann hören wir ein Geräusch. Auch diesen Fall haben die Physiker auf das genaueste untersucht.

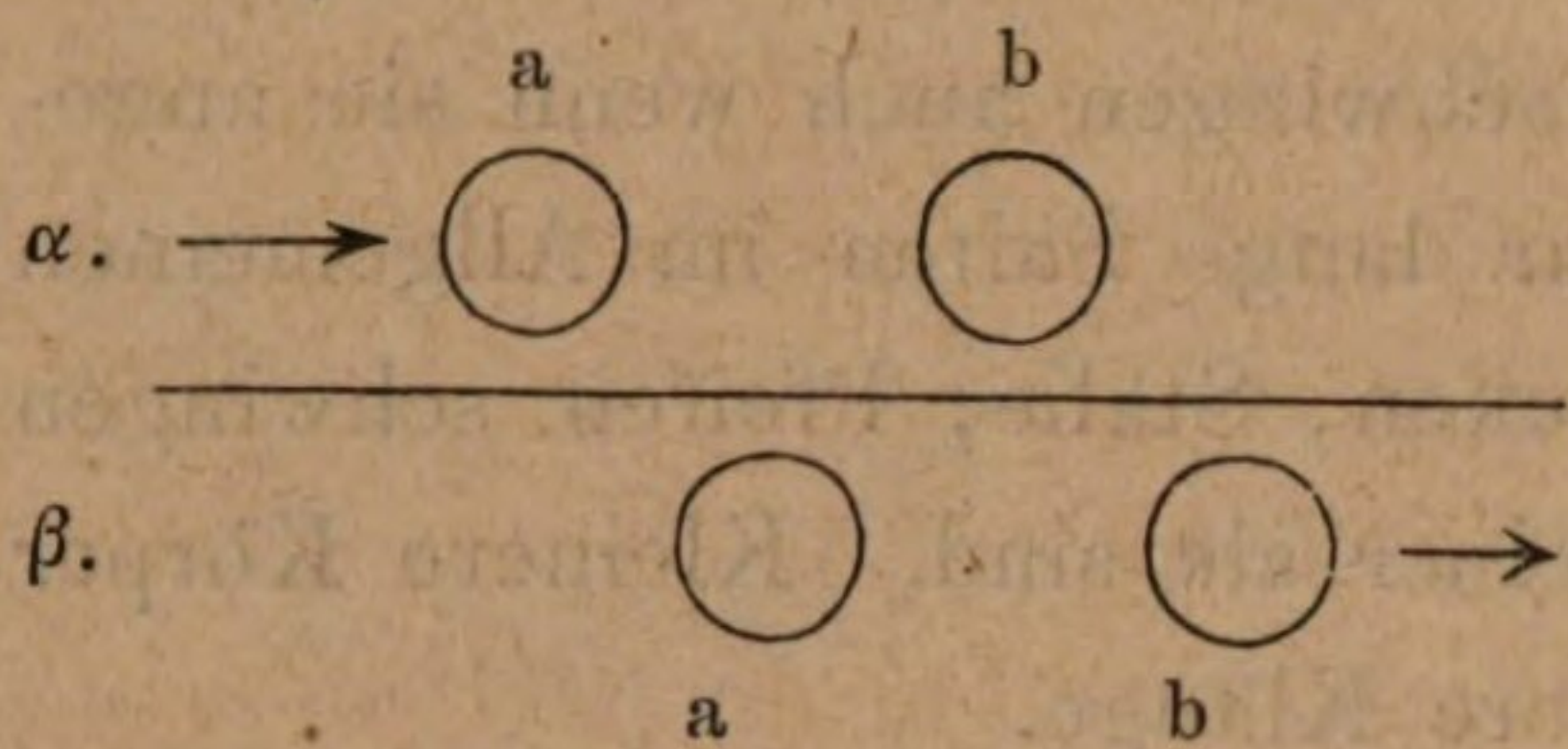
Die verschiedenen Arten von Schall werden also durch eben so verschiedene Arten von Bewegung erregt, bald durch einfach taktmässige, bald durch unregelmässige Stösse. Immer aber sind es stossweise Bewegungen, Erzitterungen, welche Schall erregen. Gleichförmig fortschrei-

tende Bewegungen geben keinen Schall. Ruhig in einer Röhre dahin fließendes Wasser verursacht kein Geräusch. Gleichförmig bewegte Maschinentheile werden nicht gehört oder doch nur, insofern hierbei kleine Erzitterungen unvermeidlich sind.

Wenn eine Schallbewegung irgendwo in der Luft stattfindet, so pflanzt sich diese mit bedeutender Geschwindigkeit fort. Um uns von diesem Vorgange ein Bild zu machen, betrachten wir einen Fall, an dem sich dieses Fortschreiten der Bewegung leichter beobachten lässt, als an

der Luft. Wir legen auf einen glatten Tisch zwei gleiche Münzstücke *a*, *b* (Fig. 3 α). Schnellen wir *a* in der Richtung des Pfeiles gegen *b* hin, so

Fig. 3.



bleibt *a* ruhig liegen, sobald es *b* trifft, während *b* allein fortgeschneelt wird. Im nächsten Momente präsentiren sich die Münzstücke wie in Fig. 3 β . Es ist *a* an der Stelle, wo es *b* traf, liegen geblieben, während *b* in der Richtung des Pfeiles weiter geschneelt wurde. Die beiden gleichen elastischen Massen haben also beim Stosse ihre Geschwindigkeiten so zu sagen umgetauscht. Dies findet in jedem solchen Falle statt.

Nehmen wir jetzt eine ganze Reihe elastischer gleicher Massen, z. B. eine Reihe gleicher Münzstücke vor, wie sie Fig. 4 darstellt. Dieselben sollen hart aneinander liegen. Dem Münzstück *a* in der Reihe α ertheilen wir eine Geschwindigkeit in der Richtung des Pfeiles. Sobald es an *b* stösst, überträgt es diesem seine ganze Geschwindigkeit, während *a* ruhig liegen bleibt. Das Münzstück *b* gibt seine Bewegung augenblicklich an *c* ab, *c* an *d*, *d* an *e* u. s. f.

Erst das letzte Münzstück der Reihe findet keines mehr vor, mit welchem es die Geschwindigkeit tauschen könnte, es bewegt sich demnach selbst weiter. Im nächsten Momente, nachdem a gegen die Reihe $b \dots h$ geschneilt wurde, präsentiert sich die Anordnung der Münzstücke wie in Fig. 4 β .

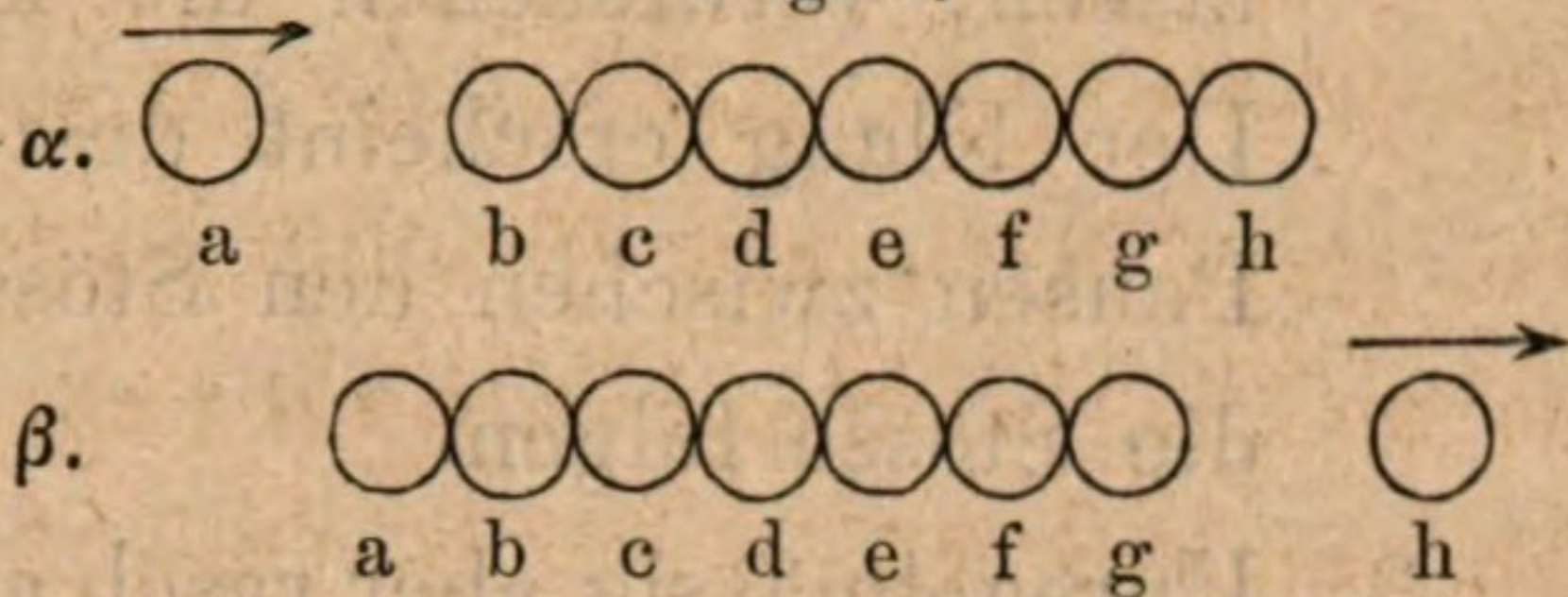
Das Stück a bleibt lie-

gen, sobald es die Reihe α . trifft und sofort springt

am andern Ende der Reihe β .

das letzte Stück h ab. In

Fig. 4.



dieser eigenthümlichen Weise pflanzt sich die Bewegung fort, welche in einer Reihe gleicher elastischer Massen erregt wird. — Diese Versuche lassen sich auch recht hübsch variiren. Schnellen wir gegen eine Reihe von Münzstücken 2, 3 ... Stücke auf einmal, so bleiben diese liegen, sobald sie die Reihe treffen und am andern Ende der Reihe springen 2, 3 ... Stücke ab.

Aehnlich haben wir uns nun das Fortschreiten der Schallbewegung in der Luft vorzustellen. Wir denken uns von dem Orte, wo der schwingende Körper sich befindet, bis zum Ohre eine Luftsäule, die etwa in gleiche Stücke abgetheilt wäre. Von dem schwingenden Körper erhält nun zwar zunächst nur das anliegende Stück der Luftsäule Stösse, welche sich aber durch die ganze Luftsäule bis zu dem letzten dem Ohre anliegenden Stücke fortpflanzen. Das Ohr erhält also durch die Vermittlung der Luftsäule die Stösse, die vom schwingenden Körper ausgehen. Diese auf das Ohr ausgeübten Luftstösse verursachen die Schallempfindung.

Wir können aus den angestellten Betrachtungen folgende wichtige Sätze hervorheben.

1. Die Schallempfindung wird angeregt durch sehr

rasch aufeinander folgende Stösse, wenn dieselben durch die Luft oder einen andern elastischen Körper bis zum Ohre fortgepflanzt werden.

2. Ganz regelmässige und taktmässige Stösse, d. h. solche, welche immer gleiche Pausen zwischen sich lassen, verursachen die Empfindung des Klanges. Der Klang erscheint desto höher, je kürzer die Pausen zwischen den Stössen, d. h. je rascher sich die Stösse folgen.
3. Unregelmässig aber rasch aufeinanderfolgende Stösse geben Veranlassung zur Entstehung von Geräuschen.
4. Der Klang ist eine sehr einfache Gehörsempfindung.
5. In einem Geräusche lassen sich deutlich viele gleichzeitige und rasch wechselnde Klänge erkennen.

Der Klang.

Wenn ich an einem Clavier dieselbe Taste bald schwach bald stark anschlage, so erhalte ich in beiden Fällen einen Klang von gleicher Höhe aber verschiedener Stärke. Der Anschlag verschiedener Claviertasten gibt Klänge von ungleicher Höhe. Gebe ich endlich dieselbe Note auf dem Clavier und auf der Flöte an etwa in gleicher Stärke, so werde ich beide Klänge doch durch das blosse Ohr unterscheiden an einer Eigenthümlichkeit, welche Klangfarbe genannt wird.

Man hat also an einem Klange

1. die Stärke,
2. die Höhe,
3. die Klangfarbe

zu berücksichtigen, die wir nun besonders betrachten wollen.

1. Die Stärke des Klanges macht uns wenig zu schaffen, denn leicht können wir uns überzeugen, dass es bloß die Heftigkeit der Schallbewegung, die Energie der Luftstöße ist, von welcher sie abhängt. Die kräftig angeschlagene Claviersaite, die stark gestrichene Violinsaite holt in ihrer Bewegung weiter aus als bei schwächerem Anspielen, sie versetzt der Luft und dem Resonanzboden demgemäss mächtigere Stöße und gibt entsprechend einen stärkeren Klang. Wir wollen uns bei dieser einfachen Bemerkung nicht weiter aufhalten.

2. Wovon die Höhe des Klanges abhängt, ist schon schwieriger festzustellen. Wir haben jedoch bereits bemerkt, dass taktmässige Luftstöße einen desto höhern Klang geben, je rascher sie sich folgen. Es kann nun noch hinzugefügt werden, dass einem Klang von bestimmter Höhe eine genau bestimmte Schnelligkeit der Luftstöße entspricht.

Man hat für musikalische Zwecke das Bedürfniss gefühlt, gewisse oft gebrauchte Klänge von bestimmter Höhe unzweideutig zu bezeichnen. Dies geschieht heutzutage durch die Notenschrift.



Die Klänge der Contra-Octave werden auch bezeichnet mit $\underline{C}$, $\underline{D}$, $\underline{E}$, $\underline{F}$, $\underline{G}$, $\underline{A}$, $\underline{H}$, jene der grossen Octave mit C , D , E , F , G , A , H , der kleinen Octave mit c , d , e , f , g , a , h , der eingestrichenen mit $\bar{c}$, $\bar{d}$, $\bar{e}$, $\bar{f}$, $\bar{g}$, $\bar{a}$, $\bar{h}$ u. s. f. Zweckmässiger noch ist die Benennung von Sondhans. Er nennt die Klänge der kleinen Octave c^0 , d^0 , e^0 , f^0 , g^0 , a^0 , h^0 . Sollen nun 1, 2, 3 ... Octaven höhere Klänge bezeichnet werden, so schreibt man nach Sondhans c^1 , c^2 , c^3 u. s. f. Die tieferen Octaven hingegen werden angedeutet durch c^{-1} , c^{-2} , c^{-3} u. s. f.

Die Franzosen und Italiener nennen jene Klänge, welche bei uns c , d , e , f , g , a , h heissen, beziehungsweise *ut*, *ré*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*. Stellen wir die französischen Zeichen unter die deutschen, so finden wir:

$\underline{C}$, $\underline{D}$, $\underline{E}$, $\underline{F}$, $\underline{G}$, $\underline{A}$, $\underline{H}$		C , D , E , F , G , A , H
ut_{-1} , $ré_{-1}$, mi_{-1} , fa_{-1} , sol_{-1} , la_{-1} , si_{-1}		ut_1 , $ré_1$, mi_1 , fa_1 , sol_1 , la_1 , si_1
c , d , e , f , g , a , h		$\bar{c}$, $\bar{d}$, $\bar{e}$, $\bar{f}$, $\bar{g}$, $\bar{a}$, $\bar{h}$
ut_2 , $ré_2$, mi_2 , fa_2 , sol_2 , la_2 , si_2		ut_3 , $ré_3$, mi_3 , fa_3 , sol_3 , la_3 , si_3

Wenn ein in der Musik verwendeter Klang angegeben wird, so vermag der Physiker mit Hilfe seiner Instrumente zu ermitteln, wie viele taktmässige Luftstösse in der Secunde nöthig sind, um diesen Klang zu erzeugen. Es würde z. B. der Klang $\bar{\bar{a}}$ in der zweigestrichenen Octave auf dem Clavier angeschlagen und wir wollten wissen, wie viele Luftstösse in der Secunde zu seiner Bildung nöthig sind. Wir versetzen die Sirenenscheibe Fig. 2 in rasche Rotation, so lange bis wir beim Blasen gegen die Löcherreihe einen Klang von gleicher Höhe erhalten wie der angegebene. Macht nun hierbei z. B. die Scheibe 10 Umdrehungen in der Secunde und hat sie 87 Löcher, so tritt die Luft beim Blasen offenbar 870 mal in der Secunde stossweise durch

und wir wissen, dass 870 Luftstösse in der Secunde den Klang $\bar{a}$ der zweigestrichenen Octave erzeugen.

Wie sich ferner feststellen lässt, ertheilt jeder Körper, welcher den Klang $\bar{a}$ gibt, der Luft 870 Stösse in der Secunde (in derselben Richtung). Die Zinken einer Stimmgabel z. B., die $\bar{a}$ gibt, gehen 870 mal in der Secunde hin und her. Auf die Natur des schwingenden Körpers kommt es also bei der Höhe des Klanges gar nicht an, sondern lediglich auf die Zahl der Luftstösse, welche er in der Secunde erregt.

Die Höhe der Klänge, die durch genannte Zeichen bestimmt werden, war zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten ungleich, je nach der angenommenen Normalstimmung. Diese Stimmung wird durch einen wenig veränderlichen klangfähigen Körper, die Stimmgabel, festgestellt.

Wir wollen die Veränderlichkeit der Stimmung durch einige Beispiele anschaulich machen.

Das Normal- $\bar{a}$ (der eingestrichenen Octave) entsprach in Paris

1680	unter Lully	404	Luftstössen in der Secunde,
1774	„ Gluck (Iphigenie)	410	„ „ „ „
1807	„ Spontini (Vestalin)	420	„ „ „ „
1829	„ Rossini (Tell)	430	„ „ „ „

Seit 1859 ist in Frankreich das Normal $\bar{a}$ auf 435 Luftstösse in der Secunde festgesetzt; es wird durch eine Stimmgabel angegeben, deren Zinken 435 mal in der Secunde hin- und hergehen.

Das deutsche Normal- $\bar{a}$ wurde auf Scheiblers Antrag von der deutschen Naturforscherversammlung zu Stuttgart (1834) auf 440 Stösse festgesetzt.

In England hat das Normal- $\bar{a}$ 444 Stösse. — Die Wie-

ner Oper hat seit 1. November 1862 ebenfalls das französische Normal- $\bar{a}$ mit 435 Stössen angenommen.

Wollten wir nun die Zahl der Luftstösse in der Secunde, welche den musikalischen Klängen nach der gegenwärtigen Stimmung der Wiener Oper entspricht, mit Hilfe der Sirene ermitteln, so würden sich leicht folgende Zahlen feststellen lassen. Das $\underline{A}$ der Contraoctave hat 54.37, das A der grossen Octave 108.75, das a der kleinen Octave 217.5, das $\bar{a}$ der eingestrichenen Octave 435, das $\bar{\bar{a}}$ der zweigestrichenen Octave 870, das $\bar{\bar{\bar{a}}}$ der dreigestrichenen Octave 1740 Stösse. Ebenso liessen sich die Zahlen der Luftstösse oder wie man auch sagt die Schwingungszahlen aller andern musikalischen Klänge auf das genaueste bestimmen.

Es ergeben sich für die musikalischen Klänge die Schwingungszahlen der folgenden Tabelle, wenn wir das häufig gebrauchte Scheibler'sche Normal- $\bar{a}$ von 440 Schwingungen zu Grunde legen.

$\underline{C}$... 33	C ... 66	c ... 132	$\bar{c}$... 264
$\underline{D}$... 37.125	D ... 74.25	d ... 148.5	$\bar{d}$... 297
$\underline{E}$... 41.25	E ... 82.5	e ... 165	$\bar{e}$... 330
$\underline{F}$... 44	F ... 88	f ... 176	$\bar{f}$... 352
$\underline{G}$... 49.5	G ... 99	g ... 198	$\bar{g}$... 396
$\underline{A}$... 55	A ... 110	a ... 220	$\bar{a}$... 440
$\underline{H}$... 61.875	H ... 123.75	h ... 274.5	$\bar{h}$... 495
	$\bar{c}$... 528	$\bar{\bar{c}}$... 1056	
	$\bar{d}$... 594	$\bar{\bar{d}}$... 1188	
	$\bar{e}$... 660	$\bar{\bar{e}}$... 1320	
	$\bar{f}$... 704	$\bar{\bar{f}}$... 1408	
	$\bar{g}$... 792	$\bar{\bar{g}}$... 1584	
	$\bar{\bar{a}}$... 880	$\bar{\bar{\bar{a}}}$... 1760	
	$\bar{\bar{h}}$... 990	$\bar{\bar{\bar{h}}}$... 1980	

Solche Bestimmungen der Schwingungszahlen lassen sich wirklich practisch mit der Sirene ausführen. Man wird an vorstehender Tabelle sofort einige Bemerkungen machen, die jedermann auffallen. Nehmen wir irgend zwei Klänge aus der Tabelle, welche zusammen das Intervall einer Octave bilden, z. B. $\underline{D}$ und D , so finden wir für $\underline{D}$ 37.125, für D 74.25 Schwingungen, also für D doppelt so viel wie für $\underline{D}$. Dasselbe gilt für E und e , für F und f , für g und $\bar{g}$, kurz für je zwei Klänge, welche um ein Octavenintervall absteigen. Der Octave entsprechen immer doppelt so viel Schwingungen oder Luftstöße wie dem Grundtone. Auf eine Schwingung des Grundtons fallen immer 2 Schwingungen der Octave. Aehnliche Betrachtungen ergeben sich für andere Intervalle. Nehmen wir die Klänge C und G heraus, welche eine Quinte bilden, so entsprechen dem C 66, dem G 99 Schwingungen in der Secunde. Offenbar fallen also auf 2 Schwingungen von C in derselben Zeit immer 3 Schwingungen von G . Dasselbe gilt aber für alle Quinten. In der Quinte $\underline{F}$, C gibt $\underline{F}$ 44, C 66 Stöße, es fallen also wieder 3 Stöße von C auf 2 Stöße von $\underline{F}$.

Wir können mit Hilfe unserer Tabelle für die diatonische Tonleiter leicht constatiren, dass auf

je 8 Schwing. des Grundtons				9 Schwing. der Sec. fallen,		
„ 4	„	„	„	5	„	„ Terz „
„ 3	„	„	„	4	„	„ Quart „
„ 2	„	„	„	3	„	„ Quinte „
„ 3	„	„	„	5	„	„ Sexte „
„ 8	„	„	„	15	„	„ Septime „
„ 1	„	„	„	2	„	„ Octave „

Wenn nun die Schwingungszahl eines Klanges bekannt wäre, so wird man mit Hilfe der angeführten Sätze sofort angeben können, wie viele Schwingungen die zugehörige

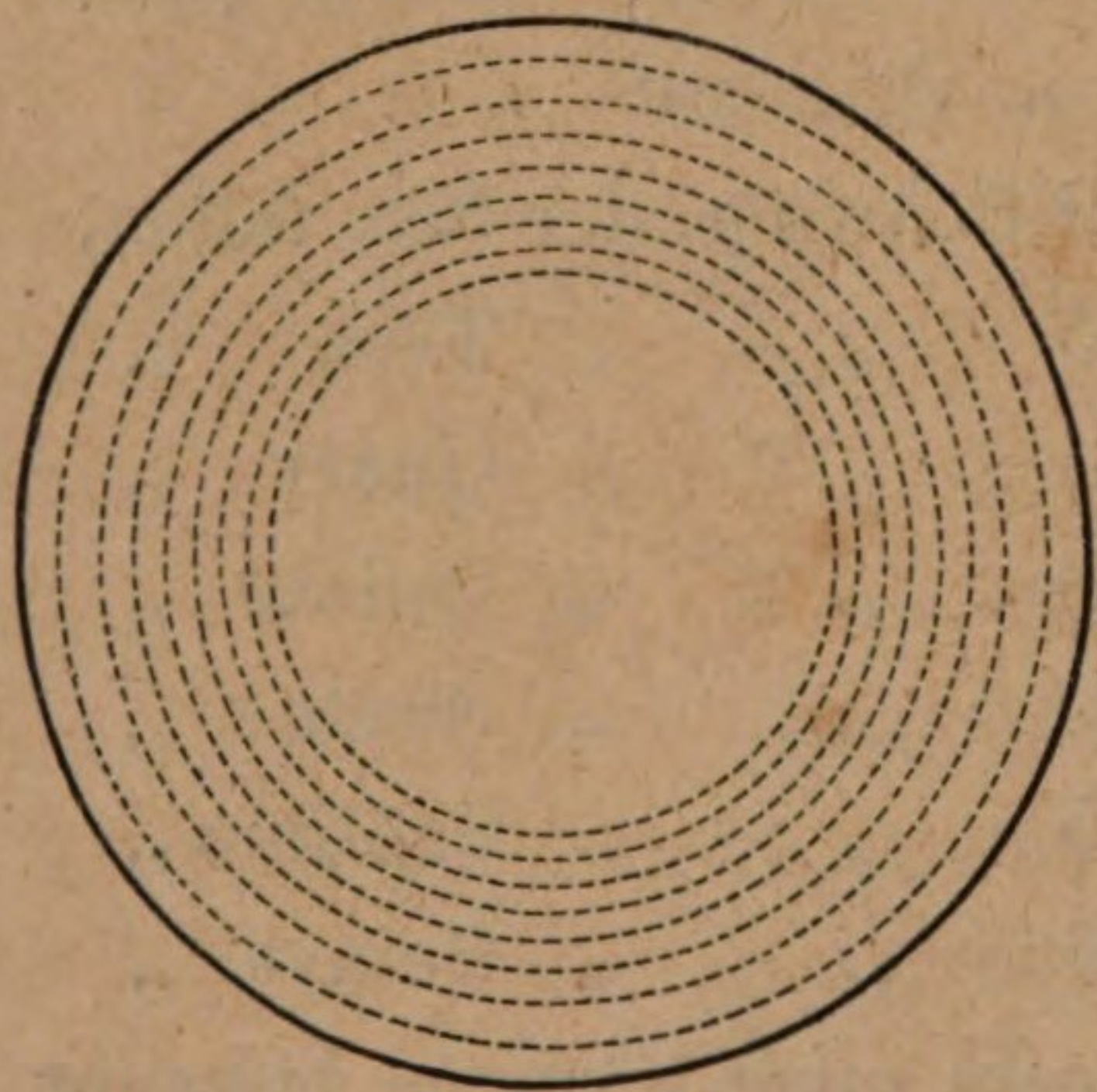
Octave, Quinte u. s. f. gibt. Um die Schwingungszahl der Octave zu erhalten wird man bloß die Schwingungszahl des Grundtones mit 2 multipliciren. Die Schwingungszahl der Quinte finden wir, indem wir die Zahl des Grundtones durch 2 dividiren und nachher mit 3 multipliciren oder, was dasselbe ist, wenn wir die Schwingungszahl des Grundtones mit $\frac{3}{2}$ multipliciren. Aehnlich bei den andern Intervallen.

Die Schwingungszahl des Grundtones mit $\frac{9}{8}$ multipl. gibt d. Schwingungsz. d. Secunde,

$\frac{5}{3}$		„	„	$\frac{5}{4}$	„	„	„	„	Terz,
		„	„	$\frac{4}{3}$	„	„	„	„	Quart,
		„	„	$\frac{3}{2}$	„	„	„	„	Quint,
		„	„	$\frac{5}{8}$	„	„	„	„	Sexte, (<i>große</i>)
		„	„	$\frac{15}{8}$	„	„	„	„	Septime, ^h
		„	„	2	„	„	„	„	Octave.

Damit also zwei Klänge ein bestimmtes musikalisches Intervall mit einander bilden, müssen ihre Schwingungszahlen in einem bestimmten Verhältniss stehen. Nicht auf den Unterschied, sondern auf das Verhältniss kommt es hierbei an. Dies lässt sich durch einen schönen und ein-

Fig. 5.



fachen Versuch an einer Sirenscheibe, wie sie von König in Paris verfertigt wird, nachweisen. Diese Scheibe enthält 8 Löcherreihen, welche durch die punktirten Linien (Fig. 5) angedeutet sind. Die innerste Löcherreihe besteht aus 24 Löchern, die folgende nach aussen aus 27, dann folgen

Reihen mit 30, 32, 36, 40, 45 Löchern, und die äusserste Reihe zählt 48 Löcher. Wenn man diese Scheibe rasch

dreht und mit einem Röhrechen zuerst durch die innerste Löcherreihe, dann durch die folgende u. s. f. bläst, so hört man deutlich eine diatonische Scala. Bei rascherer Drehung der Scheibe werden sämtliche Klänge höher, bei langsamer Drehung werden alle tiefer, sie hören aber nie auf, eine diatonische Scala zu bilden. Denn die Zahlen der Löcher, welche bei einer bestimmten Geschwindigkeit von zwei Reihen in derselben Zeit vor dem Blasrohr vorbeigeführt werden, bleiben immer in demselben Verhältniss.

3. Es bliebe uns noch die Betrachtung der Klangfarbe übrig, jener Eigenthümlichkeit der Klänge, durch welche von verschiedenen Instrumenten herrührende Klänge unterschieden werden. Wir versparen jedoch diese Untersuchung zweckmässig für einen späteren Abschnitt.

Wir können nun als festgestellt betrachten,

1. dass die Stärke des Klanges von der Heftigkeit der Bewegung abhängt, durch welche er erzeugt wird,
2. dass mit der Zahl der Schwingungen oder Luftstösse die Höhe des Klanges wachse und dass bestimmten Intervallen bestimmte Schwingungszahlenverhältnisse entsprechen.

Das musikalische Hören.

Bei jeder sinnlichen Wahrnehmung spielt die Uebung und die Aufmerksamkeit eine ungemein wichtige Rolle. Die Richtigkeit und Genauigkeit der Wahrnehmung hängt hiervon wesentlich ab. Menschen, welche durch ihre Lebensweise gezwungen sind, ihrer sinnlichen Umgebung viel

Aufmerksamkeit zu schenken, zeichnen sich meist durch eine besondere Beobachtungsgabe in dieser Richtung aus. Die Feinheit der Sinne des Indianers, der eben ganz auf die Natur angewiesen ist, ist bereits sprichwörtlich geworden.

Der Portraitmaler hat eine Fertigkeit im Auffinden und Fixiren von Feinheiten der Gesichtszüge, welche dem Ungeübten nahezu unbegreiflich scheint. Dem gleichen Falle begegnen wir beim Musiker wieder. Das mehr oder weniger in der Anlage vorhandene musikalische Gehör kann durch Uebung und Aufmerksamkeit enorm entwickelt werden. Der Nichtmusiker hat keine Vorstellung von dem Ueberblick über die Klangmassen, welchen der routinirte Kapellmeister sich aneignen muss.

Wie viel Aufmerksamkeit und Uebung für die Feinheit der sinnlichen Beobachtung leisten, kann man leicht durch Beispiele klar machen. Der Botaniker bemerkt Details und Unterschiede bei Pflanzen und erkennt deutlich zwei verschiedene Arten, wo das Auge des Laien oft keinen Unterschied mehr findet oder doch nur einen sehr undeutlichen.

Besonders zu berücksichtigen ist die willkürliche Leitung der Aufmerksamkeit. Ich erhalte ein Schreiben mit schlechter Schrift; es will mir nicht sogleich gelingen, dasselbe zu entziffern. Ich fasse bald diese bald jene Linien zusammen, ohne dass sich daraus ein Buchstabe gestaltet. Erst wenn ich meine Aufmerksamkeit auf Gruppen von Linien leite, welche wirklich zusammen gehören, ist das Lesen möglich. Dem Geübten gelingt dies früher als dem Ungeübten. — Schriften, die aus kleinen Figuren und Verzierungen bestehen, sind nur aus grösserer Entfernung zu lesen, wenn die Aufmerksamkeit nicht mehr von den Gesamt-

contouren auf die Details abgelenkt wird. Ein schönes hierher gehöriges Beispiel geben die bekannten Bilderscherze, in welchen grössere Figuren aus kleineren zusammengesetzt dargestellt werden, z. B. ein menschlicher Kopf, der aus Früchten gebildet ist. Man sieht aus geringerer Entfernung nur die Details, welche die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, aus grösserer Entfernung hingegen nur die Gesamtfigur. Doch erwählt man leicht eine Distanz, bei der es keine Schwierigkeit hat, durch blosse willkürliche Leitung der Aufmerksamkeit bald die ganze Figur zu sehen, bald die kleineren Gestalten, aus welchen sie sich zusammensetzt. — Häufig findet man ein Bild, das Grab Napoleon's vorstellend. Das Grab ist von dunklen Bäumen umgeben, zwischen welchen der helle Himmel als Grund durchblickt. Man kann dieses Bild lange betrachten, ohne etwas anderes zu bemerken als eben nur die Bäume. Plötzlich aber erblickt man die Gestalt Napoleon's zwischen den Bäumen, wenn man nämlich unwillkürlich dem hellen Grunde die Aufmerksamkeit zuwendet. An diesem Falle sieht man am deutlichsten, welche wichtige Rolle die Aufmerksamkeit spielt. Dasselbe sinnliche Object kann durch ihr Zuthun allein zu ganz verschiedenen Wahrnehmungen Veranlassung geben. Ich habe gelegentlich einmal zweifarbige Stickmuster construirt, welche sozusagen doppelsinnig waren. Sie boten zwei ganz verschiedene Zeichnungen und Figuren dar, je nachdem man die eine oder die andere Farbe als Grund betrachtete.

Jedermann weiss, dass wir mit den Augen einen Gegenstand fixiren können und dass wir dann diesen Gegenstand deutlicher und schärfer sehen als alle andern in seiner Umgebung. Wem es noch gelingt, die seitwärts liegenden Gegenstände zu beachten, ohne aber die Augen

nach denselben hinzuwenden und sie zu fixiren, der bemerkt, dass dieselben verschwommen und undeutlich erscheinen.

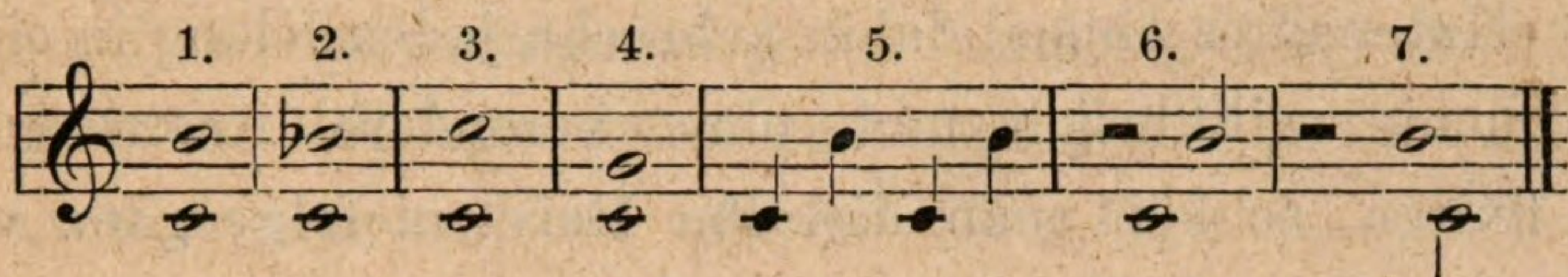
Wer Concavbrillen trägt, kann leicht folgende Beobachtung machen. Steht hinter dem Beobachter seitwärts eine Kerzenflamme, so gibt diese in der Brille ein sehr nettes kleines und dem Auge ganz nahe liegendes Spiegelbild, während man durch die Brille auch zugleich nach entfernten Gegenständen sehen kann. Blickt man nun in die Entfernung und beachtet gleichzeitig dieses kleine Bild, so erscheint es ganz verschwommen und undeutlich. Sobald man aber das Flammenbildchen fixirt, was mit einiger Anstrengung gelingt, wird es nach und nach deutlicher und zuletzt ganz scharf, während die ferneren Gegenstände verwaschen erscheinen. Die blossе Aufmerksamkeit hat hier eine Veränderung im Auge zur Folge, welche deutlicheres Sehen bewirkt.

Aehnliche Erscheinungen finden sich nun beim Ohre wieder. Auch das Ohr vermag einzelne Klänge zu fixiren, wie das Auge sich nach bestimmten Punkten richtet. Nur sind die Bewegungen und Veränderungen des Auges leichter wahrnehmbar als die Veränderungen, welche im Innern des Gehörorgans wahrscheinlich in Folge der Aufmerksamkeit eintreten. Nicht Jedermann versteht es, eine Symphonie in ihren einzelnen Stimmen zu verfolgen. Der Musiker muss hören lernen, wie der Maler sehen lernt.

Wir haben schon erwähnt, dass man aus jedem Geräusch eine grosse Anzahl verschiedener Klänge herauszuhören vermöge. Dies gelingt leichter oder schwerer, je nach dem Grade der Uebung, welche man sich erworben hat. Es gelingt leichter, wenn wenige Klänge zusammenwirken, wie bei einem Musikstück, schwerer bei einem ganz unregelmässigen Geräusch. Es gelingt leichter, wenn

die einzelnen Klänge von verschiedener Klangfarbe sind, als wenn dies nicht der Fall ist, leichter z. B. bei einer Orchesteraufführung als bei einem auf der Physharmonika vorgetragenen Musikstück.

Um sich in dieser Richtung zu üben, beginne man mit ganz einfachen Beispielen, man schlage etwa bloß zwei Tasten auf der Physharmonika an.



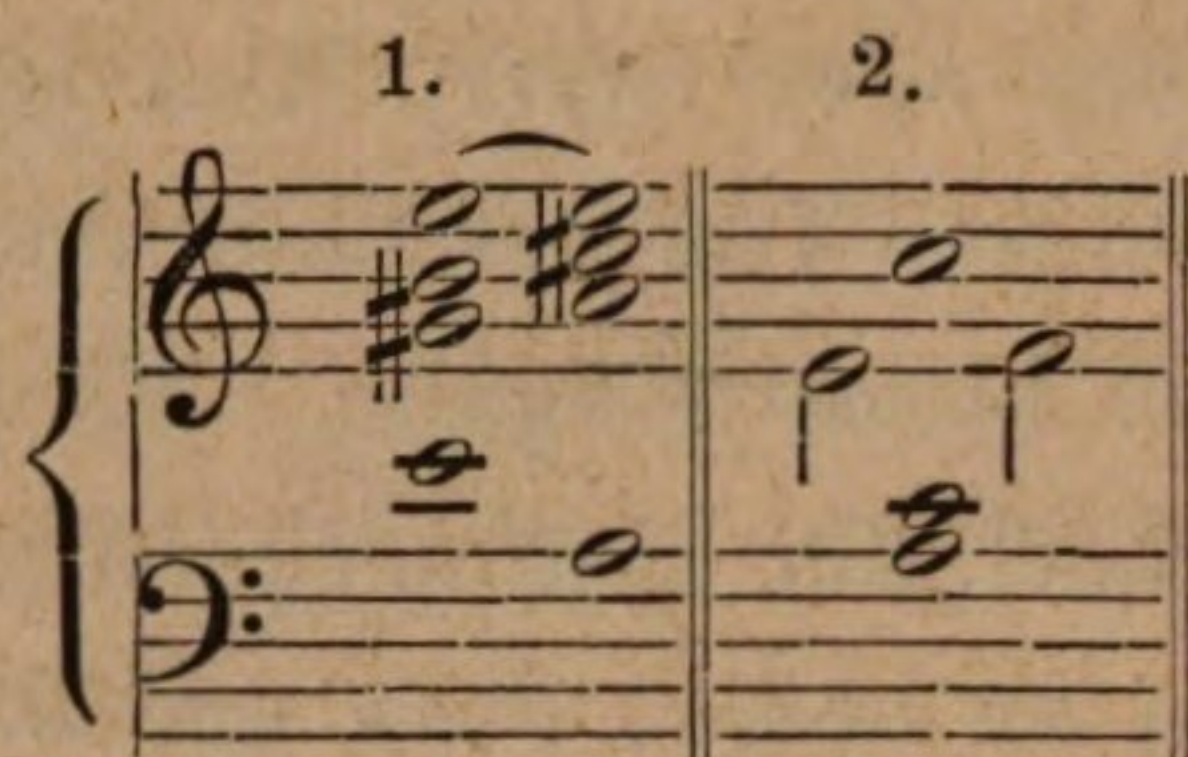
Schlägt man 1 an, so hört man leicht, je nachdem man auf den höhern oder tiefern Ton achtet, bald *h* bald *c*. Der nicht beachtete Ton erscheint dann merklich schwächer und wie eine blosse Zugabe. Es gelingt bald durch den blossen Wechsel der Aufmerksamkeit den Accord 1 fast wie gebrochen zu hören, etwa wie 5. Leichter ist dies bei Dissonanzen wie 1, 2, schwieriger bei Consonanzen wie 3, 4. — Wer in so einfachen Fällen schon Schwierigkeiten findet, kann dieselben beseitigen, indem er den einen Klang später eintreten lässt als den andern. Dieser zieht dann die Aufmerksamkeit auf sich und man kann sich leicht überzeugen, dass derselbe Accord *c-h* in 6 anders klingt als in 7. In 6 hört man deutlicher das *h*, in 7 deutlicher das *c*. Bemerkenswerth ist, dass ein ungeübtes Ohr mit Vorliebe die Oberstimme fixirt.

Nach der Uebung für zwei Klänge schreite man zur Combination dreier und mehrerer Klänge vor. Die Physharmonica ist hierbei immer der constanten Klänge wegen dem Clavier vorzuziehn.



Auch bei dreistimmigen Accorden wie 1 gelingt es, die einzelnen Klänge wie in 2 fast wie gebrochen herauszuhören. Man erleichtert sich die Sache anfangs sehr, wenn man zwei Klänge gleichzeitig und den dritten später eintreten lässt. Später bedarf es dieser Untersützung nicht mehr. Dieselbe Harmonie *e-g-h* klingt anders in 3, anders in 4, anders in 5. Immer hört man den nachgeschlagenen Klang deutlicher.

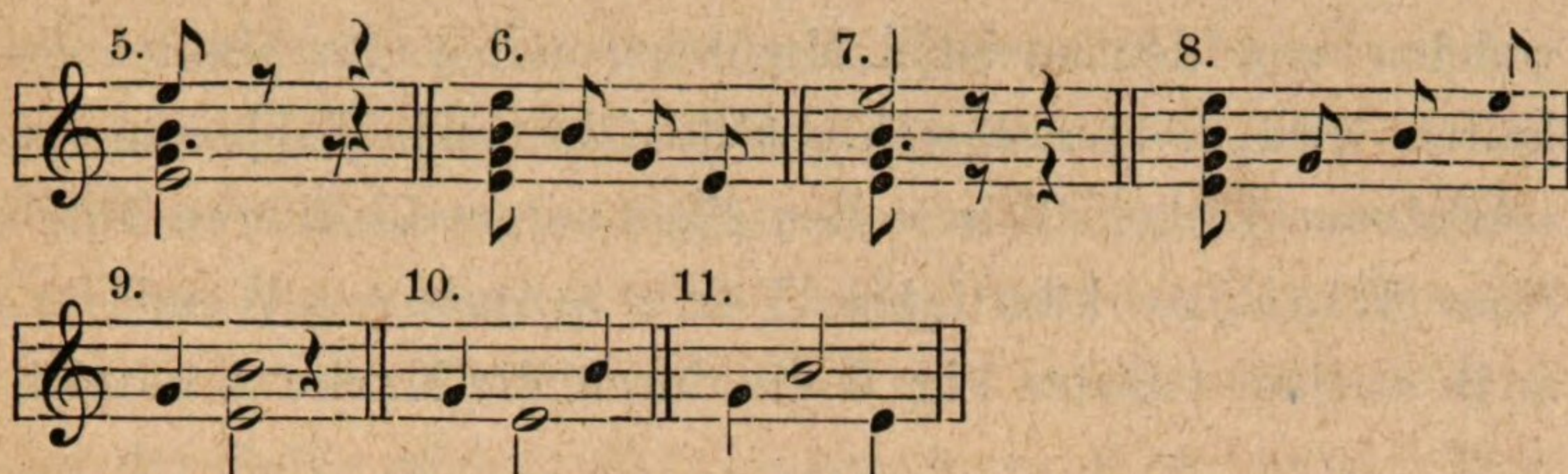
Hat man es einmal dahin gebracht, jeden Klang in einer Harmonie willkürlich und ohne besondere Anstrengung zu fixiren, so hört man dieselbe Harmoniefolge ganz verschieden je nach der Stimme, welche man beachtet.



Fixirt man in 1 die Oberstimme *e*, so hat es den Anschein, als ob die ganze Klangmasse dieselbe bliebe und nur die Klangfarbe sich veränderte. Bei Beachtung des Basses *e-a* jedoch scheint die ganze Klangmasse in die Tiefe zu steigen. Aehnliches bemerkt man beim aufmerksamen Fixiren irgend einer Stimme in 2. Immer scheint sich nur die Klangfarbe zu ändern. Nur wenn man den Schritt *e-f* beachtet, hört man denselben deutlich.

Wir haben bereits gesehen, dass die Aufmerksamkeit auf eine Stimme geleitet wird, wenn dieselbe später eintritt. Etwas Aehnliches bemerken wir, wenn umgekehrt eine Stimme in einer Harmonie erlischt.





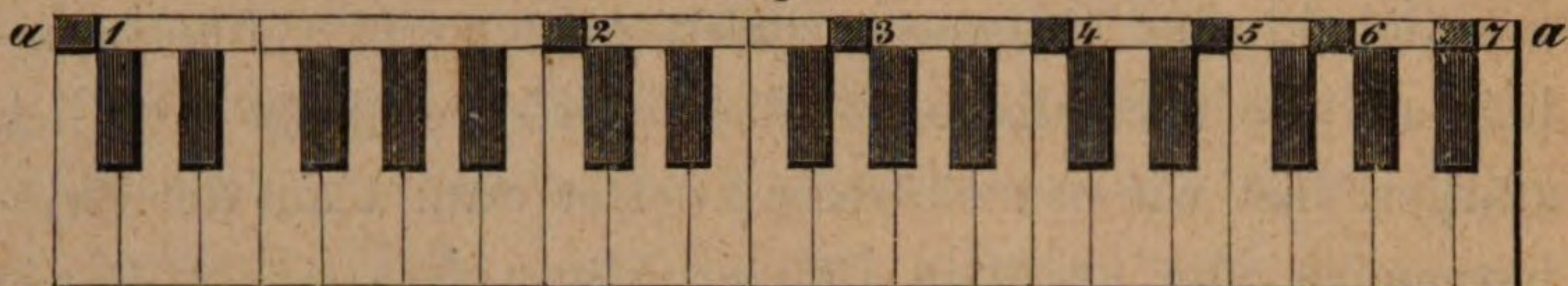
Sobald eine Stimme austritt, gleitet die Aufmerksamkeit auf die nächstliegende über. Diese erklingt merklich stärker, fast wie neu eintretend. Der Satz 1 auf der Physharmonica oder auf dem Clavier klingt fast wie 2, 3 wie 4, 5 wie 6. In 5 treten alle Stimmen nach einander aus, und man hört die zurückbleibenden nach einander wie neu angeschlagen. Dasselbe gilt für den Satz 7, er klingt wie 8. — Wie viel hierbei auf die willkürliche Leitung der Aufmerksamkeit ankommt, sieht man an dem Beispiel 9, welches, je nachdem man die höhern oder die tiefern Klänge zu beachten strebt, wie 10 oder in letzterem Falle wie 11 klingt.

Die systematische Uebung des Gehörs, wie sie hier angedeutet wurde, ist für jeden Musiker sehr wichtig. Leider wird aber die Entwicklung des Gehörs meist dem Zufall überlassen. Sie tritt gewöhnlich nur bei jenen Musikern ein, bei welchen sie durch die Beschäftigung begünstigt ist, so bei Sängern und Violinspielern, die ihre Klänge selbst suchen und sich der Begleitung anpassen müssen. Ein sehr schlecht ausgebildetes Gehör hingegen findet man oft bei Klavierspielern, welche eben darauf gar nicht angewiesen sind. Selten vermag ein Clavierspieler die Klänge einer Harmonie anzugeben.

Das wohlgeübte Ohr kann jede Harmonie oder Dissonanz in ihre Klangbestandtheile auflösen. Es vermag aber noch mehr. Auch in jedem musikalischen Klange,

welcher von den meisten Musikern selbst für einfach gehalten wird, hört das wohlgeübte Ohr noch Theile von verschiedener Höhe. Wir wollen diese unterscheidbaren Theile eines Klanges künftighin Töne nennen. — Wenn man z. B. an dem Clavier Fig. 6 die durch die Marke 1 bezeich-

Fig. 6.



nete Taste anschlägt, so hört man bei Anspannung der Aufmerksamkeit, ausser dem Grundtone, welcher jedem auffällt, noch mehrere höhere und schwächere Töne, zunächst die Octave des Grundtones, welche durch die Marke 2 bezeichnet ist, dann die Duodecime (3), die Doppeloctave (4), die Terz der Doppeloctave (5), die Quinte der Doppeloctave (6), die Septime der Doppeloctave (7), zuweilen auch noch die dritte Octave und die Secunde derselben. Diese sogenannten Theiltöne des Klanges *c* (1) sind meist schwächer als der Grundton *c*, aber doch deutlich hörbar.*)

Wir bemerken ausdrücklich, dass in jedem musikalisch brauchbaren Klange neben dem Grundtone des Klanges, nach welchem in der Musik die Höhe bestimmt und benannt wird, noch solche höhere Theiltöne oder Obertöne gehört werden. Die Höhe dieser Theiltöne ändert sich mit der Höhe des Klanges (oder seines Grundtones). Aber immer bleiben die Intervallverhältnisse der Theiltöne zum Grundtone des Klanges dieselben. Immer sind es die Oc-

*) Wir sehen hier vorläufig ab von den geringen Unterschieden der reinen und temperirten Stimmung.

tave, Duodecime, Doppeloctave, Terz der Doppeloctave, Quinte der Doppeloctave des Grundtones u. s. w., welche als Theiltöne des Klanges stärker oder schwächer hervortreten.

Für den Klang C z. B. finden wir den Grundton C und die höhern Theiltöne, welche wir in demselben hören, sind der Reihe nach C, G, c, e, g, b, c̄, d̄ u. s. w. Der Klang G enthält ausser dem Grundtone die Obertöne G, d, g, h, d̄, f̄, ḡ, ā u. s. w. Der Klang E besteht aus den Tönen E, H, e, gis, h, d̄, ē, fis u. s. f. Wir geben hier zur grössern Deutlichkeit die Theiltöne einiger Klänge in Noten.*)



Die tiefsten Noten bezeichnen immer den Grundton und den Namen des Klanges. Die Obertöne sind meist desto schwächer, je höher sie werden, so zwar, dass es hauptsächlich nur die tiefern Theiltöne in jedem Klange sind, welche deutlich gehört werden können.

Denken wir uns in Fig. 6 die Leiste *aa*, an welcher die Marken für die Theiltöne des Klanges C angebracht sind, verschiebbar, so zeigt sie stets den Grundton eines Klanges mit seinen ersten Obertönen, an welche Stelle der Claviatur wir sie auch bringen mögen. Ein solches Modell ist nun für den Ungeübten ein sehr zweckmässiges Hilfsmittel zum Studium der Obertöne.

Die Claviatur in Fig. 6 ist aus triftigen Gründen, die

*) Man bemerkt leicht, dass die Theiltöne desto näher aneinander liegen, je höher sie sind. Es können noch höhere Theiltöne auftreten als die hier angegebenen. Diese sind aber fast immer sehr schwach und für die Musik ohne Bedeutung.

später klar werden sollen, eigenthümlich construirt. Der Aufmerksame findet sofort, dass die Tasten *c, e, f, h* schmaler seien als die andern Untertasten. Dadurch werden aber alle Tasten oben gleich breit. Man erreicht damit, dass an der obern Seite der Claviatur die Tasten, welche gleichen Intervallen entsprechen, auch gleichweit von einander abstehen.

Der Klang ist also nicht die einfachste Gehörsempfindung, er lässt sich in eine Anzahl einfacherer Empfindungen, in Tonempfindungen auflösen. In jedem Klange unterscheidet man mehrere Töne. Die höheren und schwächeren stehen in den angegebenen bestimmten Intervallverhältnissen zu dem tiefsten Tone des Klanges, zum Grundtone.

Man hört die Theiltöne leichter als am Clavier an Orgelpfeifen. Die offenen Orgelpfeifen lassen in ihrem Klange die Octave, Duodecime, Doppeloctave u. s. w. hören. In dem Klange der gedackten Pfeifen fehlen die Octaven des Grundtones. An letzteren Pfeifen hört man die Obertöne am leichtesten. Man blase eine gedackte Pfeife sehr schwach an, so vernimmt man nur ihren Grundton deutlich. Bei sehr starkem Anblasen wird man fast nur die Duodecime hören, und bei mässigem Anblasen hört man deutlich den Grundton und die Duodecime.

Bei weniger Geübten muss die Aufmerksamkeit auf die Obertöne besonders hingelenkt werden, etwa auf folgende Weise. Man schlage auf dem Clavier *C* an und lasse die Taste liegen, während *G* leise und staccato angeschlagen wird. Dann hört man auch nach dem Loslassen der Taste *G* den Ton *G* fortklingen, auf welchen durch den Anschlag die Aufmerksamkeit hingeleitet wurde. Dies kann aber nur mehr von den Saiten *C* herrühren, da die Saiten des *G* nicht mehr schwingen. Ebenso verfähre man, um

die übrigen Obertöne bemerklich zu machen. Hält man eine Taste der Physharmonica mehrere Minuten, so hört man Anfangs den Grundton und später abwechselnd bald diesen, bald jenen Oberton. Das Ohr wird nemlich der Beachtung eines einzigen Tones müde und wendet sich dann unwillkührlich den anderen zu.

Wir müssen noch einiger dem Musiker leicht zugänglicher künstlicher Mittel Erwähnung thun, welche dazu dienen, sich von der Existenz der Obertöne zu überzeugen. Sie sind glücklicherweise zum Theil sehr einfacher Natur.

Die Saite eines Claviers beginnt zu tönen, sobald derjenige Ton kräftig angegeben wird, in welchem sie angeschlagen selbst erklingen würde. Wenn man z. B. die Dämpfung des Claviers hebt und einen Ton desselben kräftig hineinsingt, so hallt derselbe deutlich nach, auch nachdem man schon aufgehört hat zu singen. Dies findet nicht mehr statt, sobald man nur ein wenig die Stimmung verändert, so dass der gesungene Ton von keiner Taste des Claviers genau wiedergegeben wird.

Man drücke die $\bar{a}$ -Taste des Claviers leise nieder und stemme die angeschlagene $\bar{a}$ -Stimmgabel auf den Resonanzboden. Sogleich nach dem Entfernen der Stimmgabel hört man $\bar{a}$ aus dem Claviere nachklingen, wenn dasselbe genau nach der Stimmgabel gestimmt ist, aber auch nur in diesem Falle.

Die Claviersaite wird also durch ihren Eigenton zum Schwingen angeregt. Wir stellen zwei gleichgestimmte Claviere neben einander. Auf dem ersten Clavier schlagen wir kurz und kräftig einige Harmonien an, nachdem wir von dem zweiten Clavier die Dämpfung entfernt haben. Jede Harmonie, die wir auf dem ersten Clavier anschlagen, hören wir auf dem zweiten deutlich wiederklingen. Um nun nachzuweisen, dass es dieselben Saiten sind, die auf dem

einen Clavier angeschlagen werden und auf dem andern wiederklingen, wiederholen wir das Experiment in etwas veränderter Weise. Wir lassen auch auf dem zweiten Clavier die Dämpfung nieder und halten auf diesem bloß die Tasten *c, e, g*, während wir auf dem ersten *c, e, g* kurz anschlagen. Die Harmonie *c, e, g* tönt auch jetzt in dem zweiten Clavier nach. Halten wir aber auf einem Clavier bloss *g*, während wir auf dem andern *c, e, g* anschlagen, so klingt bloss *g* nach. Umgekehrt können wir *c, e, g* halten und bloss *g* anschlagen. Auch dann wird nur *g* nachklingen. Es sind also stets die gleichgestimmten Saiten beider Claviere, welche sich wechselseitig anregen.

Dieses Mittönen läßt sich nun verwenden, um die Existenz der Obertöne zu beweisen. Schlage ich (in Fig. 6) 1 kurz an, während nach einander die Tasten 2, 3 ... 7 bloss gehalten werden, so höre ich die Tasten 2, 3 ... 7 nachklingen. Es muss also die Taste 1 Töne hervorlocken, durch welche die Saiten von 2, 3 ... 7 angeregt werden. Dies sind eben die Obertöne.

Umgekehrt, wenn ich 1 halte und 3 kurz anschlage, höre ich 3 nachklingen, solange ich 1 halte. Ich kann also aus der Saite 1 den Ton 3 allein hervorlocken. Ebenso ist es mit den anderen Obertönen.

Es sei erlaubt, noch ein hübsches Experiment anzuführen. Wenn ich von zwei Tasten, welche einen gemeinsamen Oberton haben, die eine halte, die andere anschlage, so klingt der gemeinsame Oberton nach.



Die ganzen Noten bedeuten in obigem Beispiele gehaltene Tasten, die Viertelsnoten kurz angeschlagene Tasten und die halben Noten nachklingende Töne. Wenn in 1 F gehalten und C angeschlagen wird, klingt c nach. Auch klingt c nach, wenn in 2 C gehalten und F angeschlagen wird. Wie 3 und 4 lehrt, kann man auch ganze Harmonien nachklingen lassen.

Fassen wir nun das Wichtigste zusammen, so können wir Folgendes feststellen:

1. Das geübte Ohr vermag jede Harmonie oder Disharmonie bei genügender Aufmerksamkeit in ihre Klangbestandtheile von verschiedener Höhe aufzulösen.
2. Auch jeder musikalische Klang wird durch das Ohr noch zerlegt. Man hört in demselben neben dem Grundtone noch mehrere höhere Töne, wie die Octave, Duodecime, Doppeloctave u. s. w. des Grundtones.
3. Der Ton ist die einfachste Gehörsempfindung, welcher eine bestimmte Höhe zukommt und die weiter nicht zerlegt werden kann.

Die Klangfarbe.

Wir sind nun in der Lage, näher zu untersuchen, worauf die sogenannte Klangfarbe, durch welche wir Klänge verschiedener Instrumente unterscheiden, beruhe. Dem aufmerksamen Beobachter wird es nicht entgehen, dass die Klänge des Claviers während ihrer Dauer nicht gleichbleiben, sondern beim Einsetzen am stärksten sind und rasch immer schwächer und schwächer werden. Die Klänge der

Physharmonica, der Violine, der Blasinstrumente können durch ihre ganze Dauer hindurch gleich intensiv bleiben. Während aber das Clavier rasch einsetzt, beginnen die Klänge der Blasinstrumente meist schwerfällig. Zudem sind die Klänge der meisten musikalischen Instrumente noch von deutlichen und charakteristischen Geräuschen begleitet. Man hört deutlich das Reibungsgeräusch des Bogens und der Saite bei den Streichinstrumenten, das Sausen der durchgetriebenen Luft bei den Pfeifen.

In dem Einsetzen, dem Abklingen und den begleitenden Geräuschen liegen also Merkmale genug, um Klänge verschiedener Instrumente zu unterscheiden und über ihre Herkunft zu urtheilen.

Dies ist aber nicht Alles. Wir wissen bereits, dass die meisten Menschen den Klang für eine einfache Empfindung halten, während der Geübte denselben in eine Reihe von Tönen zu zerlegen vermag, den Grundton, die Octave, die Duodecime, die Doppeloctave u. s. w. Diese Theiltöne kommen nun, wie man sich durch genaue Beobachtung überzeugen kann, in Klängen verschiedener Instrumente in ungleicher Stärke vor, ja einzelne Theiltöne können in manchen Klängen sogar ganz fehlen. Niemals aber kommen in einem musikalischen Klange andere Theiltöne vor als die bezeichneten, niemals andere als der Grundton, die Octave, die Duodecime u. s. w. Es scheint also die Klangfarbe namentlich davon abzuhängen, wie stark die einzelnen Theiltöne in einem Klange vertreten sind. Und in der That kann man sich hiervon überzeugen. Alles, was die Stärke der Theiltöne eines Klanges verändert, nimmt Einfluss auf die Klangfarbe.

Wenn man eine bauchige Flasche anbläst, so gibt diese einen Klang, in welchem man ausser dem Grundtone kei-

nen höheren Ton mehr zu entdecken vermag. Einen eben-solchen Klang erhält man, sobald man eine schwingende Stimmgabel vor die Mündung der Flasche bringt, die auf denselben Ton gestimmt ist, welchen die Flasche angeblasen gibt. Auch gedackte Orgelpfeifen von weiter Mensur geben schwach angeblasen einen Klang ohne Obertöne. Alle solche Klänge, in welchen man ausser dem Grundtone keine höheren Töne mehr zu unterscheiden vermag, sind dumpf und weich.

Die Klangfarbe der Saiteninstrumente ändert sich bedeutend nach der Art, wie man die Saite behandelt. Betrachten wir zunächst solche Instrumente, an welchen die Saiten gerissen oder angeschlagen werden. Wenn wir eine Saite mit einem Metallstifte reissen, erhalten wir einen klimpernden Klang und hören deutlich neben dem Grundtone viele hohe und starke Obertöne. Der Klang wird weniger scharf, wenn wir die Saite mit den Fingern reissen, und gleichzeitig werden die höheren Obertöne schwächer. Einen noch weichern Klang finden wir beim Anschlag der Saite durch einen mit dicken Filzlagen überzogenen Hammer, wie dies am Clavier geschieht. Die Obertöne treten hier noch mehr zurück.

Von bedeutendem Einfluss auf die Klangfarbe der Clavierklänge ist die Anschlagsstelle der Saite. Nimmt man einen Hammer aus dem Clavier und schlägt die Saiten, nachdem man sie von der Dämpfung befreit, mit demselben, einmal nahe am Ende, dann etwa in der Mitte, so hört man erst eine angenehme, dann eine näselnde und hohle Klangfarbe. Im ersten Falle hört man zahlreiche Obertöne, im zweiten Falle hingegen fehlen die Octave, die Doppel-octave, die Quinte der Doppeloctave, kurz der 2te, 4te, 6te Theilton. Auch bei dem Anschlage in $\frac{1}{3}$ der Saitenlänge er-

hält man einen etwas hohlen Klang, in welchem die Duodecime des Grundtons und die Octave dieser Duodecime fehlt.

Die Klangfarbe ändert sich also mit der Anschlagsstelle, und von dieser hängt gleichzeitig die Stärke der auftretenden Obertöne ab. Offenbar stehen also die Klangfarbe und die Obertöne in Wechselbeziehung. Die Praktiker im Clavierbau haben die Anschlagsstelle auf $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{9}$ der Saitenlänge festgesetzt, was eine sehr angenehme und in der Musik brauchbare Klangfarbe gibt.

Jeder Clavierspieler weiss, dass die Klangfarbe auch von der Anschlagsweise abhängig sei, dass man nach Willkür einen sogenannten spitzen oder weichen Ton hervorbringen könne. Es liegen jedoch hierüber noch keine Untersuchungen vor, welche für den Musiker unmittelbar verwerthet werden könnten. Doch wäre die Bearbeitung dieses Gebietes sehr verdienstlich.

Im Klange der Streichinstrumente, z. B. der Violine, ist der Grundton stärker als in den Klängen des Claviers. Die ersteren Obertöne treten im Violinklange zurück. Die höheren Obertöne sind im Klange der Violine stärker als im Clavierklange. Die Klangfarbe der Violine erscheint in Folge dessen schärfer als die des Claviers.

Die Klänge enger offener Flötenpfeifen der Orgel weisen die sämtlichen Obertöne auf, welche oben bezeichnet wurden. Im Klange der gedackten Pfeifen hingegen fehlt die Octave, die Doppeloctave, kurz die geradzahligen Theiltöne, was denselben hohl erscheinen lässt.

Aus dem Besprochenen geht deutlich hervor, wie sehr der Gehalt eines Klanges an Obertönen und die Farbe dieses Klanges im Zusammenhange stehen. Man hält einen Klang für einfach, solange man seinem Grundtone die Aufmerksamkeit zuwendet. Die höheren Obertöne erschei-

nen dann als eine undeutliche Zugabe, welche den Character des Grundtones bedingen. Man kann aber mit angestrenzter Aufmerksamkeit jeden höhern Oberton deutlich hören, und dann erscheinen der Grundton und die anderen Theiltöne als undeutliche Zugabe. Es gelingt dies schwerer, weil meist der Grundton des Klanges weit stärker ist als die Obertöne. Eine Klangfarbe gibt es nur so lange, als man alle Klangbestandtheile ausser dem Grundtone undeutlich hört.

Ein Klang ändert — es sei gestattet, dies hier zu bemerken — seine Farbe, wenn man ihn aus ungleicher Entfernung, also verschieden stark hört. Entfernt man sich allmählig von einem klingenden Körper, so fangen die Obertöne an zu überwiegen, während der Grundton zurücktritt, der Klang wird, wie man zu sagen pflegt, leer. Bei Annäherung findet das Umgekehrte statt, der Grundton überwiegt wieder, der Klang wird voll. — Bei Singstimmen hört man aus grosser Entfernung oft nur die Duodecime des Grundtones im Klange, während erst in der Nähe der volle Klang und dessen Grundton hervortritt. Nicht bei allen musikalischen Instrumenten ist die Veränderung der Klangfarbe mit der Entfernung gleich auffallend.

Was den Zusammenhang der Klangfarbe und der Obertöne betrifft, so lassen sich einige einfache Bemerkungen aufstellen.

1. Klänge, welche ausser dem Grundtone keine oder nur sehr schwache Obertöne enthalten, erscheinen weich und dumpf.
2. Klänge mit einigen höheren Obertönen von mässiger Stärke sind voller und angenehmer.
3. Wenn der Grundton bedeutend stärker ist als die Obertöne, ist der Klang voll, im gegentheiligen Falle leer.

Clarinetten?

4. Klänge, in welchen die geradzahligen Theiltöne (Octave, Doppeloctave) fehlen, sind hohl und näselnd. In geringerem Grade findet dies statt, wenn nur die ungeradzahligen Theiltöne (Duodecime und ihre Octave) fehlen.
5. Scharf ist ein Klang, welcher sehr viele und hohe Obertöne hat.

Die Verwandtschaft der Klänge.

Jeder musikalische Klang enthält eine Anzahl Theiltöne, welche zwar dem musikalisch ungebildeten Ohre verborgen bleiben, aber bei nöthiger Vorübung der Aufmerksamkeit stets deutlich gehört werden können. Wenn nun zwei Klänge nach einander angegeben werden, so sind entweder die Theiltöne des einen sämmtlich verschieden von den Theiltönen des andern, oder einzelne Theiltöne des einen Klanges fallen mit einzelnen Theiltönen des andern Klanges zusammen. Diese beiden Fälle erscheinen merkwürdiger Weise auch schon dem minder gebildeten Ohre, welches die Theiltöne nicht einzeln zu unterscheiden vermag, als vollständig verschieden. Haben die beiden nach einander angegebenen Klänge gar keinen gemeinsamen Theilton, so hört man sofort, dass sie einander ganz fremd sind. Klänge mit gemeinsamen Theiltönen erscheinen dem blossen Ohre verwandt, auch ohne vorangegangene Auflösung in die Theiltöne. Man hört es den Klängen so zu sagen an, dass sie gemeinsame Bestandtheile enthalten. In der That ist die Gehörsempfindung bei zwei solchen Klängen zum Theil dieselbe. Der eine Klang wiederholt einen Theil dessen, was man im andern schon gehört hat. — Es

ist hier wie mit der Familienähnlichkeit zweier Gesichter, die man ganz wohl erkennt, selbst dann, wenn man gar nicht anzugeben vermag, worauf sie beruht.

Klänge, welche in ihrer Aufeinanderfolge dem blossen Ohre zur melodischen Verbindung geeignet scheinen, erweisen sich bei genauer Untersuchung immer als solche, die zum Theil gleiche Theiltöne enthalten. Wir nennen solche Klänge verwandt. Offenbar sind die Klänge verwandter, wenn mehr und wenn stärkere Theiltöne zusammenfallen. Es gibt also Grade in der Verwandtschaft der Klänge.

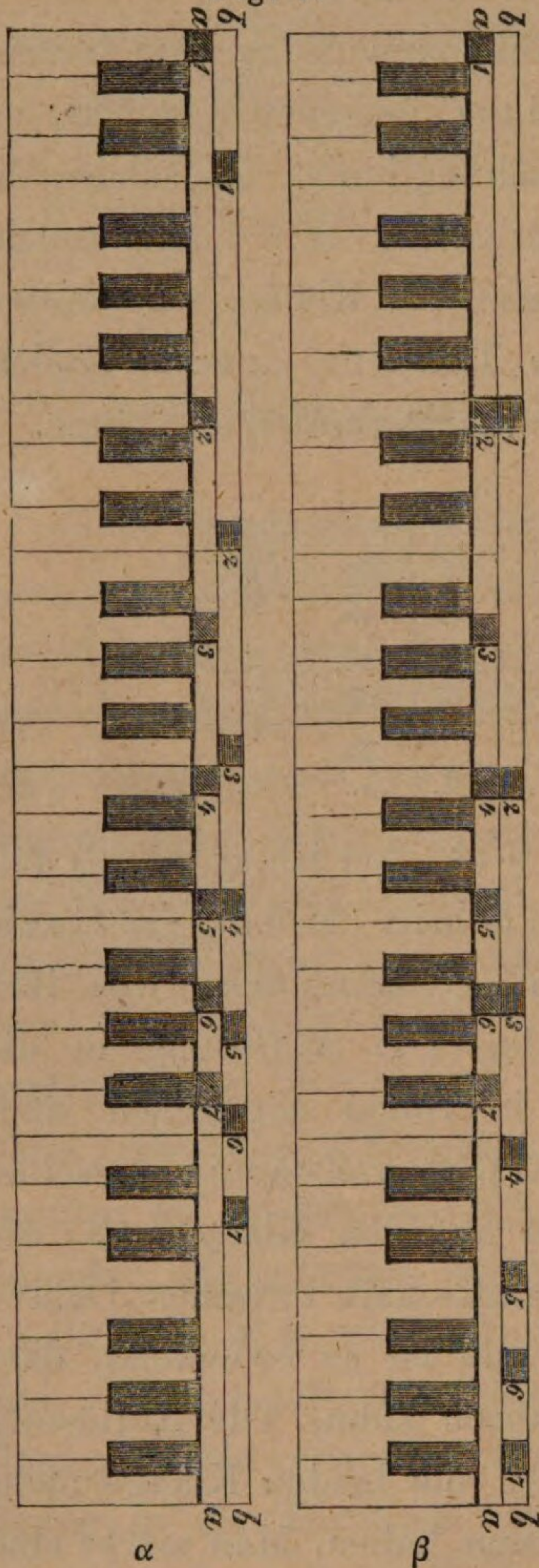


Lassen wir auf den Klang *c* (1) den Klang *cis* (2) folgen, so erkennt jedes Ohr diesen Schritt als unmelodisch, die beiden Klänge haben nichts Gemeinsames, was ihre Verbindung rechtfertigen würde. Die Auflösung in die Theiltöne, deren sieben erste in Noten angegeben sind, lehrt in der That, dass beide Klänge vollständig verschieden sind. Anders ist es, wenn auf den Klang *c* (3) die Octave *c* (4) folgt. Die Verwandtschaft zwischen Octave und Grundton fällt sofort auf, sie ist so bedeutend, dass sie sogar zu Verwechslungen führen kann. Die Auflösung der Klänge 3 und 4 lehrt, dass die beiden Klänge nicht weniger als 3 Theiltöne gemeinsam haben. Man merkt eine Uebereinstimmung auch dann, wenn man die Aufmerksamkeit nicht so weit angespannt hat, um die zusammenfallenden Theiltöne angeben zu können.

Eine deutliche, wenn auch geringere Verwandtschaft

besteht zwischen dem Grundton *c* (5) und der Quinte *g* (6). Beide Klänge haben zwei Theiltöne gemeinschaftlich.

Fig. 7.



In Fig. 7 sind Claviaturen dargestellt. An denselben befinden sich verschiebbar zu denkende Leisten *aa*, *bb*, welche wie jene in Fig. 6 mit Marken versehen sind, die, wie man die Leisten an den Claviaturen auch verschieben mag, stets die Theiltöne eines Klanges andeuten. In Fig. 7 α gibt *aa* die Theiltöne von *c* und *bb* die Theiltöne von der Terz *e*. Der vierte Theilton der Terz fällt also mit dem fünften Theilton des Grundklanges zusammen. In Fig. 7 β finden wir zwei Klänge dargestellt, welche ein Octavenintervall bilden. Augenscheinlich fallen drei Theiltöne der Octave auf drei Theiltöne des Grundtones und zwar der 1te, 2te, 3te der Octave beziehungsweise auf den 2ten, 4ten, 6ten des Grundtones.

Wenn wir Fig. 7 aus steifem Papier ausschneiden und die Streifen *bb* etwa gegen die Claviatur langsam verschieben, während wir *aa* etwa wie in der Zeichnung an der Claviatur liegen lassen, so können wir leicht alle Klänge auffinden, welche mit *c* ver-

wandt sind. Auch die Grade der Verwandtschaft lassen sich feststellen.*)

Führen wir das Experiment wirklich aus. Die Marke 1 von *a* bleibe auf *c*. Der Streifen *b* werde so gelegt, dass auch seine Marke 1 auf *c* fällt. Dann liegen alle Marken übereinander, beide Streifen bezeichnen zwei Klänge, welche im Einklange stehen. Verschieben wir nun *b* so, dass 1 auf das nächste *cis* fällt. Dann liegen alle Marken von *b* neben jenen von *a*, d. h. alle Theiltöne von *cis* fallen neben die Theiltöne von *c*. Die Klänge *c* und *cis* haben also gar keinen gemeinschaftlichen Theilton, sie sind nicht verwandt. Dasselbe gilt noch, wenn *a.1* auf *c* und *b.1* auf *d* steht. Die Klänge *c* und *d* sind auch nicht verwandt.

Es sei nun *b.1* bis *es* fortgeschritten. Dann fällt *b.5* auf *a.6* und *b.6* auf *a.7*. Die Klänge *c* und *es* sind also verwandt, wenngleich in geringem Grade, indem die zusammenfallenden Theiltöne hoch und meist sehr schwach sind.

Bei der Stellung *a.1* auf *c* und *b.1* auf *e* fällt *b.4* auf *a.5*, was eine Verwandtschaft von *c* und *e* begründet. Auch *c* und *f* sind verwandt, denn bei der entsprechenden Einstellung finden wir ein Zusammenfallen von *b.3* mit *a.4*. Die Verwandtschaft ist sehr ausgesprochen bei solchen Klängen, welche einen starken dritten und vierten Theilton haben. Dies ist aber in allen musikalisch brauchbaren Klangfarben wirklich der Fall.

Eine geringe Verwandtschaft hat *c* zu *fis*, indem bloss die hohen und schwachen Theiltöne *b.5* und *a.7* zusammenfallen.

Dagegen stossen wir nun auf eine sehr enge Verwandt-

*) Es genügt natürlich, den Streifen *bb.* nachzuzeichnen, auszuschneiden und an die Figur anzulegen.

schaft zwischen c und g , denn es fällt $b.2$ auf $a.3$ und $b.4$ auf $a.6$. — Die Klänge c und gis (as) sind nicht verwandt bei der Klangfarbe, die wir in unserer Zeichnung als Beispiel gewählt haben. *) Für c und a fallen $b.3$ und $a.5$ zusammen. Für c und b finden wir ein Zusammenfallen von $b.4$ und $a.7$.

Die Klänge c und h haben wieder gar keine Verwandtschaft. Dagegen fallen nicht weniger als 3 Theiltöne beider Klänge zusammen, wenn wir bis zum Octavenintervall fortschreiten. Die Theiltöne $b.1$, $b.2$, $b.3$ sind nämlich beziehungsweise identisch mit den Theiltönen $a.2$, $a.4$ und $a.6$. Die Octave steht also in sehr enger Verwandtschaft zum Grundtone.

Wenn wir den Streifen bb über die Octave hinaus verschieben, so wiederholen sich einige dieser Verhältnisse. Das erste Zusammenfallen der Partialtöne findet bei dem Intervall $c \overline{es}$ statt ($b.3$ und $a.7$), das zweite bei $c \overline{e}$ ($b.2$ und $a.5$), das dritte bei $c \overline{g}$ ($b.1$ und $a.3$, $b.2$ und $a.6$), das vierte bei $c \overline{b}$ ($b.2$ und $a.7$), das sechste bei $c \overline{c}$ ($b.1$ und $a.2$). Ueber die Octave hinaus finden wir noch zwei ausgesprochene Verwandtschaften: die Duodecime und die Doppeloctave. Je mehr wir nun noch das Intervall vergrössern, desto unbedeutender werden die Verwandtschaften.

Dieselben Verwandtschaftsverhältnisse würden wir wie bei c so auch für einen andern Grundton bei denselben Intervallen wiederfinden. Würden wir etwa den Streifen aa auf den Grundton fis einstellen, so würde sich durch Verschiebung des Streifens bb herausstellen, dass die Quinte cis von fis , die Octave $\overline{fis}$, die Duodecime $\overline{cis}$ u. s. w. die-

*) Wir haben uns nämlich auf solche Klangfarben beschränkt, welche bloss die sieben ersten Theiltöne enthalten.

selbe Verwandtschaft zu f haben, wie die Quinte g zu c , die Octave $\bar{c}$, die Duodecime $\bar{g}$ zu c . Die Verwandtschaft zweier Klänge hängt also von ihrem Intervall ab.

Die grösste Verwandtschaft haben solche Klänge, welche in den meisten und stärksten Theiltönen übereinstimmen.*) Wenn wir hiernach die Klänge ordnen, welche zu irgend einem Grundtone verwandt sind, so finden wir von dem verwandtesten Intervall beginnend beiläufig folgende Reihe:

Octave	grosse Terz
Doppeloctave	kleine Terz
Quinte	grosse Sexte
Duodecime	kleine Septime
Quarte	übermässige Quarte.

Von der kleinen Sexte bleibt zu bemerken, dass sie zwar aufwärts vom Grundtone genommen mit diesem keinen gemeinsamen Theilton hat, dass sie aber als eine Umkehrung der grossen Terz sich zu erkennen gibt. Kleine Modificationen in der hier aufgestellten Reihe ergeben sich, wenn man die Unterschiede der reinen und temperirten Stimmung in Betracht zieht, was hier vorläufig absichtlich unterlassen wurde.

Durch ihre gemeinsamen Theiltöne also geben sich zwei Klänge als verwandt dem Ohre zu erkennen, und diese Verwandtschaft ist es, welche uns veranlasst, diese Klänge melodisch zu verbinden, sie lieber auf einander folgen zu lassen als andere nicht verwandte.

Schon in den Tonleitern, den Grundlagen aller Melodie, werden die Klänge nach dem Princip der Verwandt-

*) Wir bringen in Erinnerung, dass die höhern Theiltöne fast in allen Klangfarben weit schwächer sind, als die tiefern.

schaft verbunden und geordnet. Offenbar musste es sich jedem Verfertiger musikalischer Instrumente bald herausstellen, dass gewisse Klänge besser zu einander passten als andere. Erstere wurden dann zu einer Tonleiter verbunden.

Es hat, wie die Geschichte der Musik nachweist, zu verschiedenen Zeiten sehr verschiedene Tonleitern gegeben. Allein das Princip, nach welchem sie construirt wurden, die Verwandtschaft der Klänge, scheint zu allen Zeiten dasselbe gewesen zu sein.

Helmholtz stellt sich vor, dass das anfangs ungeübte Ohr zunächst nur die verwandtesten Klänge aufzufinden vermochte. Erst nach und nach, wenn sich zufällig auch weniger verwandte Klänge zusammengefunden hatten, wurde das Gehör so weit verfeinert, dass auch diese entfernteren Verwandtschaften erkannt und absichtlich benützt wurden. In der That ist diese Annahme sehr wahrscheinlich, und Helmholtz' Betrachtungsweise wirft viel Licht auf die Musikgeschichte.

Zu den ältesten Tonleitern gehört offenbar die fünftönige der Chinesen und Gälén

c, d, f, g, b, c,

in welcher die Terz und die Sexte fehlt. Man kann sich leicht vorstellen, dass auch das ungebildete Ohr schon fähig sei, die Quinte als einen sehr verwandten Klang zu erkennen und aufzufinden. Die obige Tonleiter konnte nun entstehen, indem zu einem gegebenen Klange *b* der verwandte *f* hinzugefügt wurde. Von *f* aus liess sich eine neue Quinte *c*, von *c* aus eine neue *g* und *d* finden. Durch die fünf Quintenfortschreitungen

b—f—c—g—d

waren nun eine Reihe verwandter Klänge gefunden, die in die Tonleiter

c, d, f, g, b, c

gestellt werden konnten. Dieselbe konnte noch auf andere Weise entstehen. Leicht finden sich zu einem Klange *c* die Quinte *g* und die Octave *c*. Werden diese drei Klänge

c, g, $\bar{c}$

zusammengestellt, so bildet *g* mit $\bar{c}$ eine Quarte. Sollte nun auch die Quarte ihrer geringen Verwandtschaft wegen nicht unmittelbar aufgefunden werden, so wird doch selbst das ungeübte Ohr, wenn sie zufällig gegeben ist, diese Verwandtschaft erkennen und sich an dieselbe gewöhnen. Das Ohr lernt so Quarten finden und construirt dann leicht die Quarten *c—f* und *f—b*. Kommt nun noch die Quinte *g—d* hinzu, so ist die fünftönige Leiter wieder vollständig.

Aus diesen Tonleitern entstehen neue, indem bald dieser bald jener Ton als Ausgangspunkt gewählt wird. Man erhält auf diese Weise fünf Leitern:

1. *c, d, f, g, b, c* (ohne Terz und Sexte)
2. *f, g, b, c, d, f* (ohne Terz und Septime)
3. *g, b, c, d, f, g* (ohne Secund und Sexte)
4. *b, c, d, f, g, b* (ohne Quarte und Septime)
5. *d, f, g, b, c, d* (ohne Secund und Quinte).

Es existiren in allen diesen Leitern alte gälische Melodien. — Das Wesentliche, was diese Leitern von unsern modernen unterscheidet, sind die eigenthümlichen Intervallschritte. Die Leitern sind untereinander nicht bloss der Tonhöhe nach verschieden wie unsere modernen Durtonleitern untereinander, sondern jede hat ihre eigenthümlichen Intervalle, wie man sich überzeugen kann, indem man alle auf den Grundton *c* setzt.

Auf ähnliche Weise wie die gälischen Leitern mögen auch die alten griechischen dadurch entstanden sein, dass

man zu einem gegebenen Tone durch Quintenschritte immer neue verwandte hinzufügte. In der That lässt sich die diatonische Leiter

c, d, e, f, g, a, h, c

aus den durch die Quintenreihe

f—c—g—d—a—e—h

gefundenen Klängen herstellen. Indem nach und nach jeder Ton als Ausgangspunkt gewählt wird, entstehen sieben Tonleitern:

1. *c, d, e, f, g, a, h, c*
2. *d, e, f, g, a, h, c, d*
3. *e, f, g, a, h, c, d, e*
4. *f, g, a, h, c, d, e, f*
5. *g, a, h, c, d, e, f, g*
6. *a, h, c, d, e, f, g, a*
7. *h, c, d, e, f, g, a, h*

Die erste dieser griechischen Leitern entspricht unserer Durtonleiter, die sechste unserer Molltonleiter. Die übrigen sind in der heutigen Musik nicht mehr gebräuchlich. Alle diese Tonleitern unterscheiden sich untereinander wieder nicht bloss durch ihre Tonhöhe, sondern auch durch ihre eigenthümlichen Intervallenschritte, die man durch Transposition auf denselben Grundton (etwa *c*) ersichtlich machen kann.

Es seien nun noch einige allgemeinere Bemerkungen gestattet. Wenn man eine diatonische oder chromatische Scale auf irgend einem Instrumente aufwärtssteigend angibt, so hat man hierbei deutlich das Gefühl des Ansteigens, welches jedoch plötzlich nachlässt, sobald man zur Octave gelangt. Es ist, als ob man beim Aufwärtssteigen immer in denselben Ton zurückfiele, oder um ein anderes Bild zu gebrauchen, als ob man eine Wendeltreppe hinanstiege, wobei man sich zwar erhebt, aber immer dieselbe Drehung

macht.*) Das Gefühl der Rückkehr bei dem Eintritt in die Octave erklärt sich einfach durch das Zusammenfallen der Theiltöne des Grundklanges und der Octave. Räthselhafter ist das Gefühl des Ansteigens, wenn immer höhere und höhere Töne angegeben werden.

Wir haben bereits durch einige unzweideutige Experimente nachgewiesen, dass das Ohr im Stande sei, aus mehreren gleichzeitig angegebenen Tönen einen beliebigen willkürlich auszuwählen und deutlicher zu hören als die übrigen, dass das Ohr so zu sagen einen Ton zu fixiren vermöge, wie das Auge sich einem beliebigen Gegenstande zuwenden kann. Es wird nun kaum bezweifelt werden, dass jedes solche aufmerksame Fixiren durch das Ohr mit einem gewissen Gefühl der Anstrengung verbunden ist, wie das aufmerksame Sehen. Dieses Gefühl der Anstrengung scheint nun grösser zu sein für höhere Töne als für tiefere, so wie es etwa anstrengender ist, einen ganz nahe an der Nasenwurzel gelegenen Gegenstand mit den Augen zu betrachten, wie einen fernern. Durch diese einfache Annahme würde sich das Gefühl des Ansteigens beim Eintreten immer höherer Töne erklären, so wie auch die That- sache, dass wir die verschiedenen Töne nicht nur als verschieden erkennen, sondern sie ihrer „Höhe“ nach in eine Reihe ordnen. Ganz ähnlich scheint es sich hier zu verhalten wie beim Auge, welches verschiedene Gegenstände nicht nur als verschieden (etwa ungleich gefärbt) erkennt, sondern auch angeben kann, welcher weiter, welcher näher ist.

Man erkennt die Verwandtschaft zweier Klänge durch das blosse Ohr (an dem Zusammenfallen der Theiltöne).

*) Die Schraubenlinie wurde meines Wissens zuerst von Drobisch als Bild für die Tonreihe gebraucht.



Man erkennt aber noch mehr. Man erkennt durch das blosser Ohr sogar das Intervall, in welchem die auf einander folgenden Klänge stehen. Der Schritt 1—2 gibt sich dem Ohre deutlich als eine grosse Terz zu erkennen und ebenso der Schritt 3—4, obwohl in beiden Fällen die Theiltöne ganz verschieden sind. Bei 2—3 ist der gemeinsame Theilton 5, bei 3—4 ist er 6. Doch haben beide Tonfolgenempfindungen etwas Gleiches an sich, welches sie beide als grosse Terzenschritte charakterisirt. Dies kann nicht auf dem Zusammenfallen der Theiltöne beruhen. Es scheint also geradezu eine Intervallempfindung zu geben. — Diese Fragen nach der Tonhöhenempfindung und nach der Intervallempfindung sind noch nicht erledigt. Die Musiktheorie kann von deren Aufklärung sich bedeutende Fortschritte versprechen.

Uebrigens lassen sich schon aus der einen Bemerkung, dass die Verwandtschaft der Klänge auf dem Zusammenfallen ihrer Theiltöne beruhe, wie Helmholtz gezeigt hat, sehr schöne Folgerungen ziehen.

Der Zusammenklang.

Wenn man zwei Klänge gleichzeitig angibt, so äussern diese unter Umständen eine merkwürdige Zusammenwirkung auf das Ohr. Nehmen wir eine Stimmgabel. Dieselbe

gibt angeschlagen einen ganz gleichmässigen und glatten Klang, welcher ausser dem Grundtone fast gar keine Obertöne hören lässt. Lassen wir gleichzeitig noch eine zweite Stimmgabel von genau gleicher Stimmung erklingen, so bleibt der Zusammenklang beider auch noch ganz glatt und gleichmässig. Dies ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn man an die Zinken der einen Gabel etwas Wachs klebt, so dass sie ein klein wenig tiefer wird. Beide Gabeln, zusammen angeschlagen und auf den Tisch gestemmt oder gleichzeitig vor das Ohr gehalten, geben keinen glatten und gleichmässigen Zusammenklang mehr, sondern eine Anzahl von Tonstössen. Diese Tonstösse werden desto rascher, je mehr wir die eine Gabel gegen die andere durch Ankleben von Wachs verstimmen. Die Erscheinung wird für das Ohr sehr unangenehm, wenn die Tonstösse 30 bis 40 mal in einer Secunde eintreten. Man nennt die durch den Zusammenklang auftretenden Tonstösse Schwebungen.

Bei allen Arten von musikalischen Instrumenten treten solche Schwebungen oder Tonstösse auf, wenn zwei gegen einander verstimmte Klänge gleichzeitig angegeben werden. An Instrumenten mit anhaltenden Tönen wie etwa an der Physharmonica sind dieselben leichter zu hören, wie an andern mit kurz abklingenden Tönen (Clavier).



Auf der Physharmonica hört man, wenn die Töne 1 zusammen angeschlagen werden, wie man sich durch Abzählung mit der Secundenuhr überzeugen kann, etwa 5.3 Schwebungen oder Tonstösse in der Secunde. Dieselben

Töne eine Octave tiefer genommen geben bloss die Hälfte der Schwebungen d. i. 2.₆ Stösse in der Secunde. In der nächst höhern Octave hingegen bei 2. hört man die doppelte Anzahl 10.₆, bei 3. die vierfache Zahl 21.₂ in der Secunde. Und so findet man immer, dass die gleichnamigen Töne in der nächst höhern Octave die doppelte Zahl der Schwebungen geben.

Bei Vergrösserung des Intervalles vermehrt sich die Zahl der Schwebungen. Man erhält z. B. beiläufig die doppelte Zahl wie bei 1, wenn man die Töne 5 zusammen anschlägt, also statt des Halbtonintervalles das Ganztonintervall wählt. Auch hier lässt sich die Zahl der Schwebungen verdoppeln durch Uebertragung der Töne in die nächst höhere Octave.

Noch mehr Schwebungen finden wir bei abermaliger Vergrösserung des Intervalls bei 6. Man merkt jedoch deutlich, dass mit der Vergrösserung des Intervalls die Schwebungen, wenn auch zahlreicher, doch gleichzeitig immer schwächer werden. Bei grossen Intervallen werden sie endlich unhörbar.

Um uns das Zustandekommen der Schwebungen einigermaßen klar zu machen, nehmen wir zwei Mälzel'sche Metronome zur Hand und stellen dieselben nahezu gleich ein. Wir können geradezu beide gleich einstellen. Wir brauchen desshalb nicht zu fürchten, dass sie auch wirklich gleich schlagen. Die im Handel vorkommenden Metronome sind schlecht genug, um bei gleicher Einstellung merklich ungleiche Schläge zu geben. Setzen wir nun diese etwas ungleich schlagenden Metronome in Gang, so bemerken wir leicht, dass ihre Schläge abwechselnd bald auf einander, bald zwischen einander fallen. Die Abwechslung ist desto rascher, je verschiedener der Takt beider Metro-

nome. — In Ermangelung von Metronomen können wir das Experiment mit zwei etwas ungleich schlagenden Taschenuhren ausführen.

Auf ähnliche Weise entstehen die Schwebungen. Die taktmässigen Luftstösse zweier tönender Körper fallen bei ungleichem Schwingungstakte, d. i. bei ungleichen Tonhöhen bald aufeinander bald zwischeneinander, wobei sie sich abwechselnd verstärken und schwächen. Daher das stossweise Anschwellen des Zusammenklanges, welches man eben Schwebung nennt. Die Anschwellungen folgen sich natürlich desto rascher, je ungleicher der Schwingungstakt beider Körper, d. i. je ungleicher die Tonhöhe, je grösser die Verstimmung gegeneinander. Es ist ganz wie bei gleichzeitig schlagenden Metronomen. Nur hört man bei diesen die einzelnen Taktschläge, bei Tönen aber bloss die Verstärkung und Schwächung, welche aus dem Zusammen- und Nebeneinanderfallen der beiderseitigen Luftstösse hervorgeht.

Betrachten wir nun die Sache noch etwas genauer. Gesetzt, ein Metronom (*A*) führe 10 Schläge in einer Viertelminute aus, ein zweites Metronom (*B*) mache in derselben Zeit 11 Schläge. Das zweite schlägt also etwas schneller. Wenn nun der erste Schlag von *A* und *B* zusammen fällt, so muss schon der zweite Schlag von *B* etwas vor den zweiten Schlag von *A* treffen. Noch mehr muss der dritte Schlag von *B* dem dritten von *A* vorausseilen u. s. f. Der eilfte Schlag von *B* wird dem eilften von *A* schon so vorausgeeilt sein, dass er bald nach dem zehnten von *A* eintritt. Der zwölfte von *B* und der eilfte von *A* treffen zusammen, da mit diesen die zweite Viertelminute beginnt und das ganze Manöver von vorne beginnt. Und so ist es beim Eintritt jeder neuen Viertelminute. Wenn also die

Schlagzahlen der beiden Metronome für eine gewisse Zeit sich bloss um 1 unterscheiden, so tritt in dieser Zeit bloss einmal ein Zusammenfallen der Schläge ein. — Lassen wir nun die beiden Metronome mit doppelter Geschwindigkeit schlagen, also *A* 20 und *B* 22 Schläge in der Viertelminute ausführen, so wird nun dasselbe in einer Achtelminute geschehen, was vorher in einer Viertelminute geschah. Zweimal in der Viertelminute wird also ein Zusammenfallen der Schläge eintreten. Wenn die Schlagzahlen der beiden Metronome für dieselbe Zeit sich um 2 unterscheiden, so tritt in dieser Zeit zweimal ein Zusammenfallen der Schläge ein.

Man kann nun ganz allgemein bemerken und auch durch den Versuch leicht nachweisen, dass, wenn die Schlagzahlen zweier Metronome für eine bestimmte Zeit sich um 1, 2, 3, 4, 5 ... unterscheiden, 1, 2, 3, 4, 5 ... mal in dieser Zeit ein Zusammenfallen der Schläge eintritt.

Dasselbe Gesetz gilt für die Zahl der Schwebungen zweier Töne. Wenn sich die Schwingungszahlen zweier Töne für die Secunde um 1, 2, 3, 4, 5 ... unterscheiden, so tritt 1, 2, 3, 4, 5 ... mal in der Secunde ein Zusammenfallen der beiderseitigen Luftstösse, also eine Anschwellung des Zusammenklanges ein. Die Zahl der Schwebungen in der Secunde, welche beim Zusammenklange zweier Töne auftreten, ist gleich dem Unterschiede der Schwingungszahlen der beiden Töne. In der That, wenn man beim Zusammenklange zweier Töne etwa 11 Schwebungen in der Secunde hören würde und man wollte sich der Mühe unterziehen mit Hilfe der Sirene die Schwingungszahlen der beiden Töne zu bestimmen, würde man finden, dass der eine um 11 Schwingungen mehr macht als der andere.

Dies war bezüglich der Zahl der Schwebungen festzustellen. Die Stärke der Schwebungen hängt von anderen Umständen ab, die wir genauer betrachten müssen. Ein Ton allein gibt keine Schwebungen, er mag noch so stark oder noch so schwach sein. Damit Schwebungen entstehen, muss ein zweiter der Tonhöhe nach etwas verschiedener Ton hinzutreten. Am stärksten sind die Schwebungen, wenn beide zusammenwirkenden Töne gleich stark sind. Sie werden schwächer, wenn der eine Ton schwächer wird, und in dem Masse als ein Ton erlischt, erlöschen natürlich auch die Schwebungen, weil ein Ton für sich allein nicht schweben kann. Man kann sich hiervon leicht überzeugen.

Wir haben ferner schon bemerkt, dass die Schwebungen desto schwächer erscheinen, je grösser das Intervall der Töne, durch welche sie entstehen. Die kleinsten Intervalle geben die mächtigsten Schwebungen. Mit der Vergrößerung des Intervalls werden die Schwebungen endlich ganz unhörbar. Der Grund dieser merkwürdigen Erscheinung liegt in dem Bau und den Eigenschaften des Ohres. Es würde uns übrigens hier zu weit führen, wenn wir auf die Vermuthungen eingehen wollten, welche man zur Erklärung dieser Thatsache aufgestellt hat.

Die Schwebungen sind, sobald sie etwas rascher werden (etwa 30—40 mal in der Secunde eintreten), eine für das Ohr sehr unangenehme Erscheinung. Sie geben dem Zusammenklange etwas Rauhes und Scharfes, ja man kann behaupten, dass alles Unangenehme in der harmonischen Musik von den Schwebungen herrührt. Die Schwebungen sind die Ursache der Disharmonie. Helmholtz war es, der diesen Satz sehr eingehend und mit grosser Gründlichkeit dargethan hat. — Schon in einem ältern Werke (Smith Robert, *Harmonics or the philosophy of musical*

sounds. 8^o. Cambridge, 1749) wird die Disharmonie auf die Schwebungen zurückgeführt. Das werthvolle Buch wurde jedoch wenig beachtet, und so gingen die bedeutenden darin niedergelegten Untersuchungen verloren. Helmholtz gebührt das Verdienst, dieses Feld abermals bearbeitet zu haben.

Der Grad des Unangenehmen der Schwebungen lässt sich natürlich nicht messen und genau angeben. Man kann nur sagen, unter welchen Umständen die Schwebungen unangenehmer, unter welchen sie erträglicher werden.

Zunächst kann man sich überzeugen, dass die Rauigkeit der Schwebungen mit ihrer Zahl wächst, bis sie etwa 30—40 mal in der Secunde eintreten. Noch raschere Schwebungen verlieren wieder an Rauigkeit, so dass etwa 130 Schwebungen in der Secunde wenig mehr zu merken sind.

Die Schwebungen sind bei übrigens gleicher Zahl desto rauher, je kleiner das Intervall, durch welches sie entstehen.

Die in der Musik gebrauchten kleinern Intervalle geben rauhere Schwebungen in den tiefern Octaven als in den höhern. In den letztern sind nämlich die Schwebungen sehr rasch und werden desshalb unmerklich.

Auffallend unangenehm sind die Schwebungen eines Halbtonintervalls fast in dem ganzen Umfang der in der Musik brauchbaren Tonhöhen. Das Ganztonintervall gibt rauhe Schwebungen von den tiefsten Lagen bis zum Ende der dreigestrichenen Octave hinauf. Die kleine Terz, welche in der eingestrichenen Octave ganz gut klingt, wird unangenehm in den tiefern Octaven. Je grösser das Intervall, desto tiefer kann man dasselbe legen, ohne rauhe Schwebungen zu verursachen.

Im Ganzen können wir feststellen, dass in den

mittleren Lagen nur solche Intervalle, die kleiner als ein Ganzton sind, unangenehme Schwebungen geben.

Wir haben bisher stillschweigend angenommen, dass die zusammenwirkenden Klänge keine oder nur sehr schwache Obertöne haben, wie dies bei Stimmgabeln z. B. wirklich der Fall ist. Wir haben deshalb auch nur die Grundtöne und ihre Schwebungen berücksichtigt. Wenn aber zusammengesetzte Klänge gleichzeitig angegeben werden, die etwas gegen einander verstimmt sind, so geben auch die höhern Theiltöne des einen Klanges mit den höhern Theiltönen des andern merkliche Schwebungen.

Die Theiltöne eines und desselben Klanges geben mit einander gewöhnlich keine hörbaren Schwebungen, weil die



einzelnen Theiltöne bei guten musikalischen Klängen mit einander zu grosse Intervalle bilden.

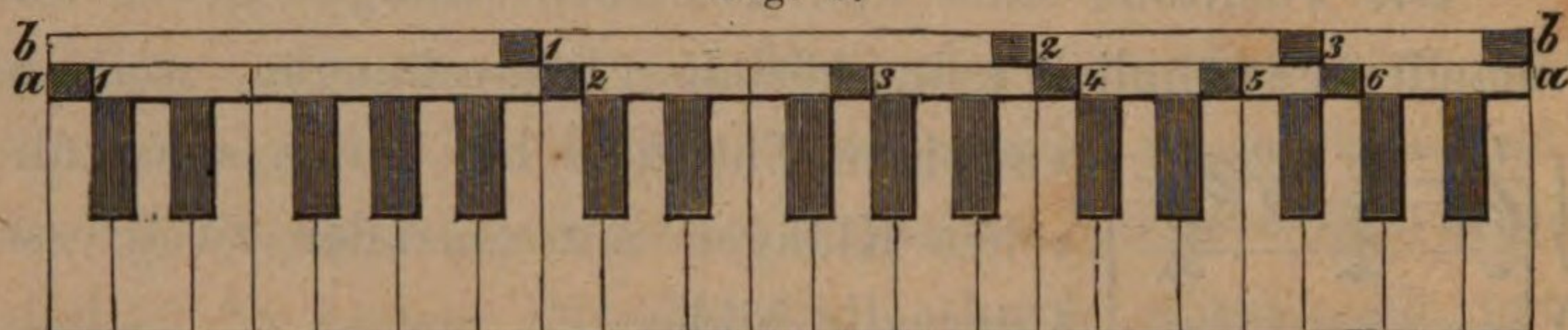
In dem Klange 1 z. B. ist das kleinste Intervall eine kleine Terz, und diese wird schon von schwachen und hohen Theiltönen gebildet. Klänge jedoch, welche noch höhere Theiltöne enthalten, sind rauh, namentlich wenn diese hohen Theiltöne stark sind. Die Rauhigkeit rührt hier wirklich von den Schwebungen her, welche ihre Theiltöne mit einander geben. In dem Klange 2 z. B., welcher 10 Theiltöne hat, kommen schon Ganzton- und Halbtonintervalle zwischen den höchsten Theiltönen vor, und diese können wirklich hörbare Schwebungen geben. Solche Klänge sind aber in der Musik nicht wohl anwendbar.

Die Schwebungen, welche die Theiltöne zweier Klänge mit einander geben, sind bei hinreichender Aufmerksamkeit gut zu hören. Schlagen wir die Klänge C und Cis auf

der Physharmonika an, so hören wir den Grundton C fixierend die langsamen Schwebungen der Grundtöne. Die Obertöne C und Cis geben aber auch Schwebungen und zwar von der doppelten Schnelligkeit wie jene von C und Cis. Fixirt man den dritten Theilton G, so hört man auch diesen mit Gis schweben und zwar dreimal so schnell, als C mit Cis schwebt.

Wenn Klänge, die weite Intervalle mit einander bilden, Schwebungen hören lassen, so rühren diese meist von den höhern Theiltönen her. Man kann sich hiervon leicht überzeugen. Schlägt man die Klänge C und H an, welche im Intervall einer Septime stehen, so hört man starke

Fig. 8.



Schwebungen. Sie müssten jedoch viel rascher sein, wie man sich durch Nachrechnen mit Hilfe der Schwingungszahlen überzeugen kann, wenn sie von den Grundtönen C und H der Klänge herrührten. Die Schwebungen entstehen im Gegentheil zwischen dem Grundton H des Klanges H und dem ersten Oberton c des Klanges C. Ein Blick auf Fig. 8 macht dies deutlicher. Die Streifen aa und bb bezeichnen mit den Marken 1 wieder die Grundtöne, mit 2, 3 ... die höhern Theiltöne. Die Theiltöne b.1 und a.2 fallen nun sehr nahe aneinander, bilden ein Halbtonintervall, welches wie bereits bemerkt sehr deutliche Schwebungen gibt. Diese sind es, welche man hört, wenn die Tasten a.1 und b.1 gleichzeitig angeschlagen werden. Es sind in der That dieselben Schwebungen, die man auch erhält, sobald man die Tasten b.1 und a.2 anschlägt. In beiden Fällen

sind sie gleich schnell. Nur werden sie im zweiten Falle etwas stärker, weil die zusammenwirkenden Töne gleich stark sind. Im ersten Falle wirkt nämlich ein höherer Theilton mit einem Grundton zusammen und ersterer ist gewöhnlich ausnehmend schwächer,

Auch die Schwebungen der Theiltöne b_2 und a_4 , b_3 und a_6 , welche beim Anschlage der Tasten a_1 und b_1 entstehen, hört man, sobald man den höhern Theiltönen die Aufmerksamkeit zuwendet.

Auch bei anderen weiten Intervallen hört man Schwe-



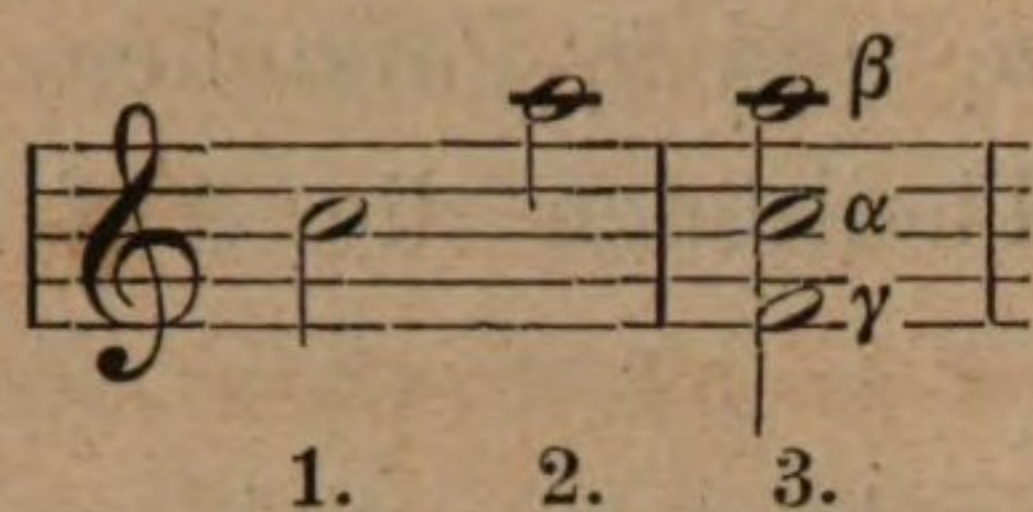
bungen, Die Klänge 1 und 2 (in ihren 3 ersten Theiltönen ausgeschrieben) geben zusammen Schwebungen, welche von den Theiltönen α und β herrühren. Man erhält auch dieselbe Zahl von Schwebungen durch den Anschlag von α und β . Eben so ist es bei den Klängen 3, 4 und in allen andern ähnlichen Fällen. Meist hört man nur solche Schwebungen deutlich, die zwischen den tiefern Theiltönen entstehen, weil die höhern Theiltöne und auch ihre Schwebungen zu schwach sind.

Die Wichtigkeit aller dieser Thatsachen für die Musiktheorie wird uns alsbald klar werden.

Wir müssen nun noch einer andern Erscheinung erwähnen, der sogenannten Combinationstöne.

Wenn man auf einem Piano eine Taste leicht anschlägt und sich die Theiltöne merkt, welche zu hören sind, wenn man ferner ebenso mit einer zweiten und dritten

Taste verfährt und dann die nach einander angeschlagenen Tasten gleichzeitig nimmt, ebenfalls in leichtem Anschlag, so hört man in dem gleichzeitigen Anschlag nur solche Töne, die vorher nach einander gehört wurden. Dies gilt fast für alle musikalischen Instrumente, solange ihre Klänge leise sind.



Nehmen wir jetzt auf der Phys-
harmonica bei starkem Wind erst die
Taste 1, dann 2 einzeln. Wir hören
die Grundtöne der Klänge 1 und 2
und ihre höhern Theiltöne. Bei gleichzeitigem Anschlag
der Tasten 1 und 2 hören wir alles gleichzeitig, was vor-
her einzeln und nach einander zu hören war, und noch
einen tiefern schwächern Ton, den keine der
beiden Tasten einzeln angab. Der gleichzeitige An-
schlag von 1 und 2 lässt wie es in 3. dargestellt ist, die
angeschlagenen Klänge α und β mit ihren höhern Theil-
tönen und noch einen tieferen schwächeren Ton γ (f) hö-
ren. Man nennt diesen Ton, der nicht direct angegeben,
wohl aber bei dem Anschlag der beiden Klänge mitgehört
wird, der also durch die Combination der Klänge erst ent-
steht, Combinationston.

Solche Combinationstöne entstehen immer, wenn zwei
oder mehrere starke Klänge (oder Töne) zusammenwirken.
Bei schwachen Klängen sind sie nicht zu hören.

Es gibt zwei Arten von Combinationstönen, die soge-
nannten Differenztöne und die Summationstöne.
Wenn zwei Klänge zugleich angegeben werden, welche
ausser den Grundtönen keine oder nur sehr schwache Ober-
töne enthalten, so entsteht bei hinreichender Stärke dieser
Klänge ein Combinationston, dessen Schwingungszahl der
Differenz der Schwingungszahlen der angegebenen Klänge

gleich ist (der Differenzton), und ein zweiter, dessen Schwingungszahl gefunden wird, wenn man die Schwingungszahlen der erwähnten Klänge summirt (der Summationston).

Lassen wir z. B. die Klänge *c* und *a* zusammenwirken, so erhalten wir für diese (nach der Seite 16 aufgestellten Tabelle) die Schwingungszahlen 132 und 220. Die Differenz $220 - 132 = 88$ gibt den Differenzton *F*, wie aus der Tabelle zu ersehen ist. Die Summe $220 + 132 = 352$ gibt den Summationston $\bar{f}$. Die Klänge *c*—*a* bilden eine grosse Sexte, der Differenzton *F* ist die Unterquinte von *c*, der Summationston die Quarte von *c* in die nächst höhere Octave verlegt. — Nehmen wir jetzt die Klänge *d* und *h* mit den Schwingungszahlen 148.5 und 274.5 zusammen, welche abermals eine grosse Sexte bilden, so erhalten wir als Differenzton wieder die Unterquinte von *d*, nämlich *G* und als Summationston die Quarte von *d* in der höhern Octave $\bar{g}$. Man kann sich auf diese Weise leicht überzeugen, dass immer, wenn die zwei gleichzeitig angegebenen Klänge ein bestimmtes Intervall bilden, auch die Intervalle der Combinationstöne zu denselben bestimmt sind.

Wenn man aber für eine Anzahl von Intervallen in einer bestimmten Lage und Tonart die Combinationstöne ermittelt hat, so genügt die einfache Uebersetzung in andere Lagen und Tonarten, um auch für diese die Combinationstöne der betreffenden Intervalle zu erfahren.

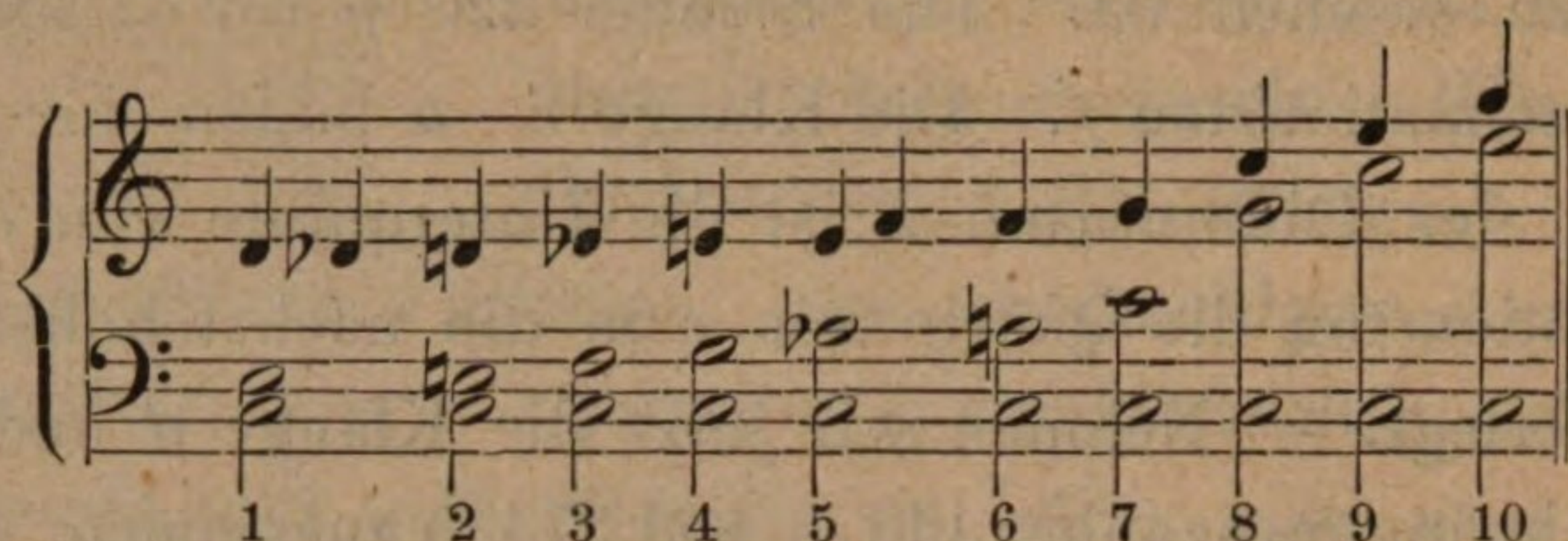
Wir machen nun für einige Intervalle, welche in hal-



ben Noten ausgeschrieben sind, die Differenztöne durch Viertelnoten ersichtlich.

Bei 1 fehlt der Combinationston, weil der Einklang keinen solchen erzeugt. Bei 10 liegt der Differenzton zwischen den beiden Viertelnoten.

Auf gleiche Weise wollen wir nun für einige Intervalle die Summationstöne ersichtlich machen.



Wo zwei Viertelnoten angegeben sind, da liegt der Summationston zwischen denselben.

Wollte man nun für eine andere Lage und Tonart die Combinationstöne erfahren, so würde eine einfache Transposition hierzu genügen. So würde man z. B. für das nebenstehende in Halbnoten aus-

 geschriebene Intervall mit Hülfe der obigen Notenangaben (directe Versetzung aus *C* in *H*) leicht die angegebenen Combinationstöne finden.

Um einen beiläufigen Ueberblick über die Combinationstöne zu geben, habe ich die beiliegende Tafel construiert, von welcher man allerdings keine zu grosse Genauigkeit erwarten darf. Der Gebrauch dieser Tafel ist ein sehr einfacher. Man zeichnet die Claviatur nach, schneidet sie aus und legt sie an die Tafel an. Wenn man dieselbe nun aufwärts schiebt, so dass sie immer den Horizontallinien der Tafel parallel bleibt, so markiren die mit *gg* und *ii* bezeichneten ausgezogenen Linien, wo sie die obere Seite der Claviatur treffen, zwei Tasten. Die gestrichelte Linie

dd markirt aber ebendasselbst die Taste des Differenztones, die punktirte *ss* jene des Summationstones. So lange die Claviatur nur zu den Horizontallinien der Tafel parallel bleibt, kann man sie wie immer auf und abwärts, auch von rechts nach links verschieben. Immer markiren die ausgezogenen Linien ein direct anzuschlagendes Intervall, die punktirte und gestrichelte Linie gibt aber die Combinationstöne. Die Tabelle macht so die Combinationstöne für alle Intervalle, alle Lagen und Tonarten ersichtlich.

So wie die Claviatur an der Tafel gezeichnet ist, gibt sie, wenn sie bloss aufwärts geschoben wird (ohne Verrückung nach rechts oder links) nach und nach alle Intervalle von *c* aus aufwärts und ihre Combinationstöne. Wollten wir die Intervalle für einen andern Grundton haben, so müssten wir vor dem Aufwärtsschieben eine Verrückung nach rechts oder nach links vornehmen, was einer Transposition in eine andere Tonart gleich käme.

Ohne die Claviatur nachzuzeichnen und auszuschneiden kann man auch noch die Combinationstöne für die Intervalle von *c* aufwärts finden (von jenem *c*, bei welchem die beiden ausgezogenen Linien zusammentreffen). Man will z. B. den Differenzton für *c— α* haben. Dann sucht man die Taste *a*, fährt von dieser aufwärts (parallel zu den Verticallinien der Tafel), bis man die Linie *ii* trifft. Von diesem Punkte an geht man nach links (parallel zu den Horizontallinien, bis man die Linie *dd* trifft, und von da an gelangt man abwärts gehend zur Taste des Differenztones. Ebenso würde man bei Aufsuchung des Summationstones verfahren, nur müsste man da von der Linie *ii* nach rechts bis zur Linie *ss* fortschreiten.

Legen wir jetzt unsere Claviatur unten an der Tafel an und schieben sie langsam aufwärts, so werden dabei die

Intervalle der zwei direct anzuschlagenden Töne vom Einklange beginnend immer grösser und wachsen bis zu zwei Octaven. Dabei bemerken wir leicht Folgendes. Bei der geringsten Störung des Einklangles tritt sofort ein sehr tiefer Differenzton auf, der mit dem Wachsen des Intervalls steigt (höher wird). Erreicht das Intervall eine grosse Terz, so liegt der Differenzton zwei Octaven unter dem Grundtone des Intervalls. Bei weiterem Wachsen des Intervalls wird der Differenzton immer höher und fällt bei dem Octavenintervall mit dem tiefern Tone zusammen. Bei noch grösseren Intervallen tritt der Differenzton zwischen die erzeugenden Töne und nähert sich nun desto mehr dem höhern von beiden, je grösser das Intervall wird.

Der Summationston liegt bei Intervallen, welche dem Einklang nahe kommen, nahezu eine Octave über dem Grundton des Intervalls und nähert sich beim Wachsen des Intervalls fort und fort dem höhern Tone.

Die Combinationstöne treten wie gesagt nur dann merklich auf, wenn zwei starke Klänge zusammenwirken. Die Differenztöne hört man am besten, wenn man zwei Tasten, die ein enges Intervall (unter einer Octave) bilden, in einer hohen Lage auf der Physharmonica bei starkem Wind anschlägt. Bei weitem Intervallen und in tieferen Lagen sind die Differenztöne undeutlich. Die Summationstöne hört man auf der Physharmonica bei starkem Wind deutlich, wenn man ein enges Intervall (unter einer Octave) in einer tiefen Lage angibt.

Immer sind die Summationstöne weit schwächer als die Differenztöne. Für den Musiker sind deshalb die Differenztöne viel wichtiger, und er dürfte selten in die Lage kommen, die Summationstöne in Betracht zu ziehen.

Wenn man zwei starke Klänge, welche Obertöne ent-

halten, zusammenwirken lässt, so geben nicht nur die Grundtöne, sondern auch die Obertöne derselben Differenztöne. Da jedoch die Obertöne schwächer sind als die Grundtöne, so sind es auch ihre Combinationstöne. Der Musiker kann sich fast in allen Fällen damit begnügen, die Differenztöne der Grundtöne zusammenwirkender Klänge zu berücksichtigen.

Zwei starke Klänge zusammen geben einen Differenzton. Fügt man noch einen Klang hinzu, so gibt dieser mit jedem der beiden ersten Klänge abermals einen Differenzton. Auf diese Weise entsteht oft eine grosse Zahl von Combinationstönen.



In nebenstehendem Beispiel geben die drei in Halbnoten ausgeschriebenen Klänge die drei in Viertelnoten angegebenen Differenztöne, von welchen zwei, wie ersichtlich zusammenfallen.

Die Combinationstöne können auch merkliche Schwebungen geben, wenn sie mit einem andern Tone nahe zusammenfallen und stark genug sind. Gibt man zwei starke Klänge an, die eine Octave bilden, und verstimmt den einen etwas, so fällt jetzt der Differenzton sehr nahe an den tieferen von beiden und gibt deutliche Schwebungen. Man überzeugt sich hiervon, wenn man Klänge ohne Obertöne anwendet, etwa gedackte Orgelpfeifen von weiter Mensur. Die hier bei der Verstimmung der Octave auftretenden Schwebungen können nicht von den Obertönen herrühren, weil diese nicht vorhanden sind.

Stellen wir nun die wichtigsten Erscheinungen des Zusammenklanges übersichtlich dar.

1. In der Tonhöhe wenig verschiedene zusammenwirkende Klänge geben Schwebungen.

2. Die Schwebungen sind in den mittlern Lagen unangenehm, wenn die zusammenwirkenden Klänge um weniger als ein Ganztonintervall von einander abstehen.
3. Wenn grössere Intervalle störende Schwebungen geben, so rühren diese meist von den Obertönen der Klänge her.
4. Starke Klänge erzeugen bei ihrer Zusammenwirkung Combinationstöne, von welchen die sogenannten Differenzttöne für den Musiker am wichtigsten sind.
5. Auch die Combinationstöne können zu Schwebungen Veranlassung geben.

Die Harmonie.

Nachdem wir die Schwebungen und die Combinationstöne kennen gelernt haben, können wir an die Untersuchung der Gesetze der Harmonie gehen. Wir können uns fragen, worauf es beruhe, dass manche Intervalle einen angenehmen, andere einen unangenehmen Zusammenklang geben.

Die ersten und einfachsten Erfahrungen über die Harmonie sind uralt. Nicht so die Erklärung der Harmonie und Disharmonie. Diese wurde vollständig erst in der neuesten Zeit durch Helmholtz gefunden. Es sei ein kurzer historischer Rückblick gestattet.

Schon Pythagoras (586 v. Chr.) wusste, dass der Ton einer Saite von bestimmter Spannung in die Octave umschlägt, wenn man die Saitenlänge auf die Hälfte, in die Quinte, wenn man sie auf zwei Drittheile reducirt,

und dass dann der erstere Grundton mit den beiden andern consonirt. Er wusste überhaupt, dass dieselbe Saite bei gleicher Spannung consonirende Töne gibt, wenn man ihr nach und nach Längen ertheilt, welche in sehr einfachen Zahlenverhältnissen stehen, sich etwa wie 1:2, 2:3, 3:4, 4:5 u. s. w. verhalten.

Die Ursachen dieser Gesetze vermochte Pythagoras nicht zu finden. Was haben die consonirenden Töne mit den einfachen Zahlen zu thun? So würden wir heute fragen. Pythagoras aber muss dieser Umstand weniger befremdlich als unerklärlich vorgekommen sein. Er suchte den Grund in dem geheimen wunderbaren Wesen der Zahlen. Dies hat wesentlich zur Entwicklung einer Zahlenmystik beigetragen, deren Spuren sich auch heute noch in den Traumbüchern finden und bei solchen Gelehrten, welche das Wunderbare der Klarheit vorziehen.

Euklides (300 v. Chr.) gab bereits eine Definition der Consonanz und Dissonanz, wie wir sie den Worten nach heute kaum besser hinstellen könnten. Die Consonanz (*συμφωνία*) zweier Töne, sagt er, sei die Mischung (*κρασις*) derselben, die Dissonanz (*διαφωνία*) hingegen die Unfähigkeit sich zu mischen (*ἀμιξία*), wodurch sie für das Gehör rauh werden. Wer die richtige Erklärung der Erscheinung kennt, hört sie sozusagen aus Euklides Worten wiederklingen. Dennoch kannte er die wahre Ursache der Harmonie nicht. Er war der Wahrheit unbewusst sehr nahe gekommen, ohne sie jedoch wirklich zu erfassen.

Leibnitz (1646—1716 n. Chr.) nahm die von seinen Vorgängern ungelöst zurückgelassene Frage wieder auf. Er wusste wohl, dass die Töne durch Schwingungen erzeugt werden, dass der Octave doppelt so viel Schwingungen entsprechen als dem Grundtone. Ein leidenschaftlicher

Liebhaber der Mathematik wie er war, suchte er die Ursache der Harmonie in dem geheimen Zählen und Vergleichen der Schwingungszahlen und in der geheimen Freude der Seele an dieser Beschäftigung. Ja wie denn aber — wird mancher denken — wenn jemand gar nicht ahnt, dass die Töne Schwingungen sind, dann wird wohl das Zählen und auch die Freude am Zählen so geheim sein müssen, dass kein Mensch darum weiss! Was doch die Philosophen treiben! Die langweiligste Beschäftigung, das Zählen zum Princip der Aesthetik zu machen! Diese Einwendung ist nicht ganz unrichtig, und doch hat auch Leibnitz gewiss nicht ganz Unsinniges gedacht, wenn gleich sich schwer klar machen lässt, was er unter seinem geheimen Zählen verstanden wissen wollte.

Aehnlich wie Leibnitz suchte der grosse Euler (1707—1783) die Ursache der Harmonie in der von der Seele mit Vergnügen wahrgenommenen Ordnung unter den Schwingungszahlen.

Rameau und d'Alembert (1717—1783) rückten der Wahrheit näher. Sie wussten, dass jeder musikalisch brauchbare Klang neben seinem Grundtone noch die Duodecime und die nächst höhere Terz hören lasse, dass ferner die Aehnlichkeit zwischen Grundton und Octave allgemein auffalle. Hiernach musste ihnen das Hinzufügen der Octave, Quinte, Terz zum Grundton als „natürlich“ erscheinen. Allerdings hatten sie den richtigen Gesichtspunkt, allein mit der blossen Natürlichkeit einer Erscheinung kann sich der Forscher nicht begnügen, denn gerade das Natürliche ist es, dessen Erklärung er sucht.

Rameau's Bemerkung schleppte sich nun durch die ganze neuere Zeit fort, ohne jedoch zur vollständigen Auffindung der Wahrheit zu führen. Marx stellt sie an die

Spitze seiner Compositionslehre, ohne eine weitere Anwendung von derselben zu machen. Auch Goethe und Zelter in ihrem Briefwechsel streifen sozusagen die Wahrheit. Letzterem ist Rameau's Ansicht bekannt.

Eine richtige Erklärung der Harmonie und Disharmonie durch die Schwebungen findet sich in dem bereits erwähnten Werke von Smith Robert (1749).

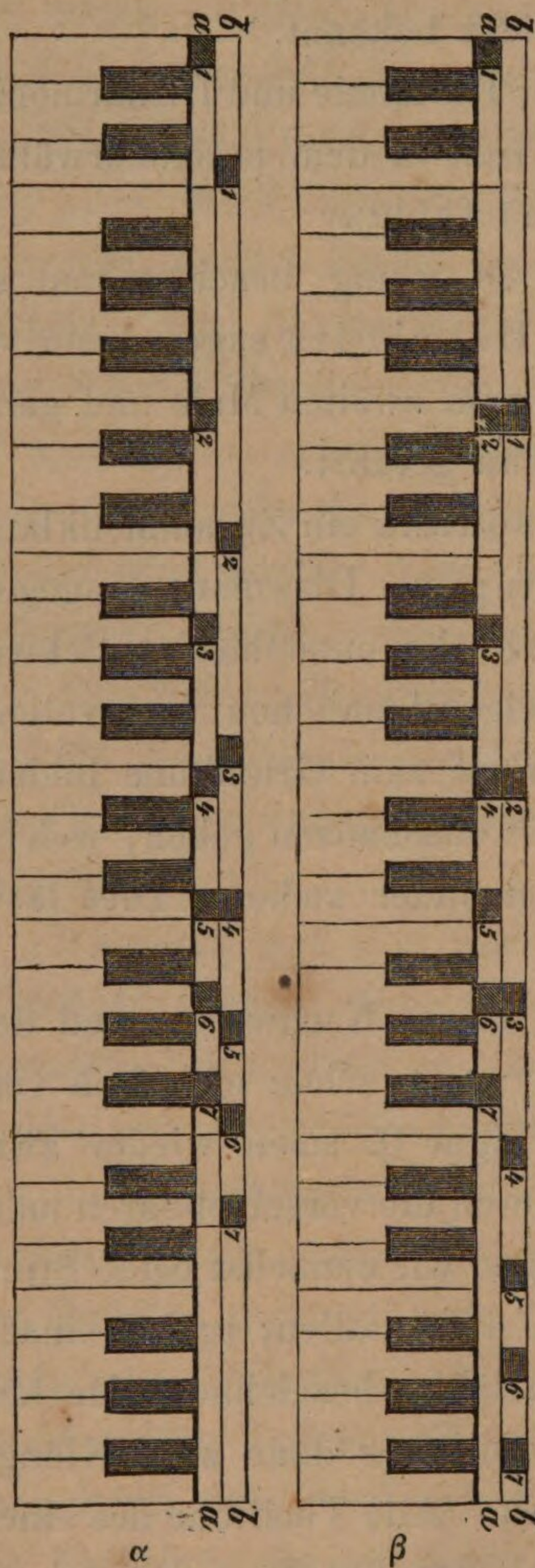
Dies Buch wurde jedoch so wenig beachtet und so wenig bekannt, dass man von Helmholtz sagen kann, er habe die musikalische Akustik zum zweiten Male und ganz selbständig auf die richtige Bahn geführt.

Nach Helmholtz ist Consonanz ein Zusammenklang ohne merkliche Schwebungen, Dissonanz hingegen ein Zusammenklang, der durch die entstehenden Schwebungen rauh wird. An den eigenthümlichen Intervallen, welche die Theiltöne des Klanges zum Grundtone bilden, liegt es, dass nur solche Klänge Consonanzen geben, welche in bestimmten Intervallen zu einander stehen. Dies lässt sich sehr schön nachweisen.

Wir wollen zum Zwecke dieses Nachweises und der Anschaulichkeit wegen wieder unser schon mehrfach verwendetes Modell wählen. In Figur 9. seien wieder zwei Klänge mit ihren Theiltönen durch die verschiebbaren markirten Leisten dargestellt. Legen wir zunächst beide Streifen so an, dass die Marken 1 auf *c* fallen, und demnach auch alle folgenden mit gleichen Zahlen bezeichneten Marken zusammentreffen. Die Figur stellt uns dann zwei Klänge vor, welche im Einklange stehen. Alle Theiltöne des einen Klanges fallen auf die entsprechenden Theiltöne des andern. Es können hierbei keine Schwebungen entstehen, wenn nicht jeder der Klänge für sich schon solche gibt. Dies ist aber, wie bereits erwähnt, bei den meisten musikalisch brauch-

baren Klangfarben nicht der Fall und namentlich bei solchen nicht, welche die Theiltöne bloss bis zum siebenten

Fig. 9.



hinauf enthalten, wie wir dies hier als Beispiel gewählt haben. Die einzelnen Theiltöne sind hier zu weit von einander, um merkliche Schwebungen zu geben.

Sobald wir nun eine Verschiebung der obern Leiste, eine Verstimmung des einen Klanges, etwa nach aufwärts vornehmen, fallen jetzt je zwei Theiltöne nebeneinander. Der erste Theilton von *b* fällt neben den ersten von *a*, der zweite neben den zweiten u. s. f. Die gleichbezeichneten Theiltöne werden aber jetzt mit einander Schwebungen geben, deren Schnelligkeit und Rauigkeit mit der Grösse der Verstimmung zunimmt. Der Zusammenklang zweier etwas gegen einander verstimmter Klänge muss in Folge der entstehenden Schwebungen unangenehm werden. Wir nennen einen solchen unangenehmen Zusam-

menklang Dissonanz.

Treiben wir die Verstimmung der Klänge gegen einander etwa bis zu einem Halbtonintervall, so werden

hierbei die Schwebungen der wachsenden Schnelligkeit wegen immer rauher. Ueber das Halbtonintervall hinaus wächst zwar noch immer die Zahl der Schwebungen, aber das wachsende Intervall zwischen den schwebenden Theiltönen macht nun seinen Einfluss geltend, wodurch die Schwebungen merklich schwächer werden, so zwar, dass bei der Verstimmung um ein Ganztonintervall der Zusammenklang weit weniger unangenehm wird als bei dem Halbtonintervall.

Steht $a.1$ auf c , $b.1$ auf d , so bilden alle Theiltöne mit einander Intervalle, die grösser sind als ein Halbtonintervall, nur $b.5$ mit $a.6$ und $b.6$ mit $a.7$ geben Halbtonintervalle. Diese kleinern Intervalle aber werden gerade von den schwächern Theiltönen gebildet. Die Gesamtmasse der Schwebungen muss also bei dem Intervall $c-cis$, in welchem alle Theiltöne in Halbtonintervallen stehen, weit grösser sein als bei dem Intervall $c-d$, wo dies nur für zwei Paare der höhern schwächern Theiltöne der Fall ist.

$e5$ Schreiten wir nun bis zu dem Intervall einer kleinen Terz vor, indem wir $a.1$ auf c stehen lassen und $b.1$ bis zu $e5$ verschieben. Wir finden dann folgende Disposition. Die Theiltöne a_1, b_1 bilden eine kleine Terz, deren Schwebungen schon sehr schwach sind. Dasselbe gilt von a_2 und b_2 , ebenso von a_3 und b_3 , sowie auch von den übrigen Paaren gleichnamiger Theiltöne. Ein Ganztonintervall mit etwas stärkeren Schwebungen entsteht bloss zwischen $b.3$ und a_4 , ein Halbtonintervall zwischen $b.4$ und a_5 . Die Theiltöne $b.5$ und a_6 fallen ganz zusammen, ebenso $b.6$ und a_7 , sie können also gar nicht schweben. Das Intervall der kleinen Terz wird also einen noch bessern Zusammenklang geben als jenes der grossen Secund, weil die kleineren stark schwebenden Intervalle der Theiltöne hierbei noch weniger vertreten sind.

Bei Einstellung unserer Leisten auf die grosse Terz bemerken wir Folgendes. Die tieferen stärkeren Theiltöne treten weiter auseinander (in das Intervall einer grossen Terz). Von kleineren Intervallen bemerken wir bloss die drei Halbtonintervalle $b_3 - a_4$, $a_6 - b_5$, $a_7 - b_6$. Dagegen fallen die Theiltöne b_4 und a_5 zusammen, womit ihre Schwebungen erlöschen. Diese Theiltöne sind im Allgemeinen stärker als jene, welche bei der kleinen Terz zusammenfallen. Auch klingt die grosse Terz meist besser als die kleine, weil bei den meisten Klangfarben bei ersterer die Gesamtmasse der unangenehmen Schwebungen geringer ist.

Bei der Einstellung auf die reine Quart $c - f$ bilden natürlich alle gleichnamigen Theiltöne beider Klänge auch reine Quarten zu einander, welche keine merklichen Schwebungen geben. Zwischen einigen ungleichnamigen Theiltönen entstehen jedoch engere Intervalle. So geben b_2 und a_3 ein Ganztonintervall, ebenso b_4 und a_6 , b_6 und a_7 . Halbtonintervalle finden wir zwischen b_4 und a_5 , b_5 und a_7 , also zwischen hohen und meist schwachen Theiltönen. Die stärkeren Theiltöne b_3 und a_4 fallen zusammen. Die Quart klingt im Allgemeinen noch besser wie die Terz, sie ist eine reinere Consonanz.

Der Zusammenklang $c - f$ (übermässige Quart) erscheint rauh, ist eine Dissonanz, weil hier auch die tieferen und stärkeren Theiltöne Halbtonintervalle und demnach mächtigere Schwebungen bilden. So b_2 mit a_3 , b_3 mit a_4 , b_4 mit a_6 . Dass die hohen Theiltöne b_5 und a_7 zusammenfallen, ändert die Rauigkeit nicht wesentlich.

Schreiten wir zur reinen Quinte vor. Die Theiltöne b_2 und a_3 , welche in der übermässigen Quarte die mächtigsten Schwebungen gaben, fallen nun zusammen, ihre

Schwebungen erlöschen. Die Töne $b.3$ und a_4 treten weiter auseinander, während b_4 und a_6 wieder zusammenfallen. Nur die hohen und schwachen Theiltöne b_5 und a_7 geben schwache Schwebungen. Die Quinte ist ein Zusammenklang mit nur schwachen, wenig störenden Schwebungen. Die Quinte ist eine Consonanz. Dies gilt natürlich nur von der reinen Quinte. Eine Verstimmung würde sofort wieder Schwebungen zwischen den Theiltönen $b.2$ und a_3 , b_4 und a_6 hervorrufen.

Wir stellen die Marke 1 der Leiste bb auf gis ein. Sofort erkennen wir den Zusammenklang als eine Dissonanz. Denn alle Theiltöne des einen Klanges liegen neben den Theiltönen des andern und nicht weniger als 3 Paare von Theiltönen geben Halbtonintervalle und dem entsprechend mächtige Schwebungen. Die übermässige Quinte ist eine Dissonanz.

Bei Einstellung unserer Leisten aa und bb auf die grosse Sexte $c—a$ erkennen wir diese als Consonanz. Bloss b_4 und $a.7$ bilden ein Halbtonintervall. Da aber der eine dieser Töne ($a.7$) sehr schwach ist, so werden auch seine Schwebungen nur gering sein. Ausserdem kommen nur mehr Ganztonintervalle, kleine und grosse Terzen vor. Die Theiltöne $b.3$ und $a.5$ fallen überdies zusammen. Die grosse Sexte gehört zu den besseren Consonanzen.

Dagegen charakterisirt sich die kleine Septime $c—b$ als Dissonanz. Nur die schwächeren Theiltöne $b.4$ und a_7 fallen zusammen, während alle übrigen ziemlich kleine Intervalle und entsprechende Schwebungen bilden. Namentlich ist das Ganztonintervall der tiefen Theiltöne $b.1$ und a_2 hervorzuheben.

Noch mehr Dissonanz ist die grosse Septime $c—h$.

Alle Theiltöne fallen hier nebeneinander, und darunter finden sich vier Paare, welche in Halbtonintervallen stehen.

Die Octave hingegen gibt sich sofort als Consonanz zu erkennen. Denn $b.1$ fällt auf a_2 , $b.2$ auf a_4 , b_3 auf a^6 . Diese Töne können also nicht schweben. Die übrigen aber bilden genug weite Intervalle, um nicht zu stören. Die Octave ist nächst dem Einklange die vollkommenste Consonanz.

Beim Fortschritt über die Octave hinaus wiederholen sich einige der hier bereits besprochenen Verhältnisse. Die kleine und grosse Secunde in der höhern Octave (die None) ist wieder Dissonanz. Die kleine und grosse Decime sind Consonanzen. Die reine Quarte in der höhern Octave hat keinen entschiedenen Charakter. Bemerkenswerthe Consonanzen sind noch die Duodecime (höhere Quinte) und die Doppeloctave.

Im Allgemeinen bewahren die Intervalle auch in höheren Lagen ihren Charakter. Es ist jedoch natürlich, dass der Unterschied zwischen Consonanz und Dissonanz immer geringer wird, je grössere Intervalle wir anwenden, weil die Theiltöne der beiden Klänge hiermit immer mehr ausser Beziehung treten.

Wenn wir also zwei Klänge fort und fort gegen einander verstimmen (die Leisten aa , bb fort gegen einander verschieben), so finden wir, dass es gewisse Verstimmungsgrade (Stellungen der Leisten) gibt, bei welchen die Masse der Schwebungen geringer, also der Wohllaut des Zusammenklanges grösser ist als bei anderen. Dieser Wohlklang ist an bestimmte Intervalle geknüpft, welche immer dieselben sind. Wir haben z. B. von c ausgehend die Quinte g und die Octave $\bar{c}$ als die besten Zusammenklänge gefunden. Wenn wir aber von einem andern Grundton aus-

gehen würden, müssten wir wieder die Quinte und Octave dieses Grundtons als solche Klänge erkennen, welche mit ihm am besten zusammenklingen.

Solche durch ihren Wohllaut sich auszeichnende Zusammenklänge, die in der Musik den Namen Consonanzen führen, unterscheiden sich also durch zwei Merkmale von den Dissonanzen. Einmal sind consonirende Zusammenklänge für das Ohr einfacher, weil einige Theiltöne der beiden Klänge zusammenfallen. Dann ist, wie gesagt, die Gesamtmasse der Schwebungen bei den Consonanzen weit geringer.

Dass das Wesentliche der Consonanz in der Vermeidung der Schwebungen bestehe, davon kann man sich durch das blosse Ohr überzeugen. Man kann die Schwebungen, welche z. B. beim Anschlage der Terz $c—e$ zwischen den Theiltönen b_3 und a_4 , b_5 und a_6 , b_6 und a_7 entstehen, wirklich hören und sich durch directen Anschlag dieser Paare von Tönen b_3 und a_4 u. s. w. überzeugen, dass es dieselben Schwebungen in derselben Anzahl sind, welche man vorher in dem Zusammenklänge $c—e$ gehört hat.

Nicht die Tonhöhenverhältnisse der zusammenwirkenden Klänge, sondern das Fehlen der Schwebungen sind der Grund ihres Consonirens. Helmholtz hat, um dies nachzuweisen, ein schönes Experiment ausgeführt. Zwei gedackte Orgelpfeifen, welche also Klänge ohne Obertöne geben, werden auf eine grosse Terz gestimmt und zusammen angeblasen. Man kann nun das Intervall fort und fort bis zu einer kleinen Terz verstimmen, ohne dass eine Störung des Wohlklanges eintritt. Was zwischen der grossen und kleinen Terz liegt, klingt in diesem Falle ganz ebenso gut wie die grosse und kleine Terz selbst. Mit den Obertönen fehlen nämlich auch ihre Schwebungen, und von

dem Höhenverhältniss hängt der Wohlklang nicht ab. Anders ist es natürlich bei Klängen mit Obertönen. Bei solchen können die Schwebungen eben nur in bestimmten Intervallen vermieden werden.

Auch die Combinationstöne können auf den Zusammenklang störend einwirken und durch ihre Schwebungen eine Dissonanz hervorbringen. Eines solchen Falles wurde bereits Erwähnung gemacht. Zwei Klänge ohne Obertöne, welche im Intervall einer Octave stehen, machen ihre Verstimmung sofort durch Schwebungen bemerklich. Die Schwebungen entstehen zwischen dem Combinationston beider Klänge und dem tiefern Klange. Im Ganzen aber spielen die Combinationstöne eine untergeordnete Rolle den Obertönen gegenüber. Sie sollen daher vorläufig unberücksichtigt bleiben.

Wir haben die stufenweise Verstimmung zweier Klänge gegeneinander und die hierbei auftretende abwechselnde Verstärkung und Schwächung der Schwebungen und der Rauigkeit des Klanges einer genauern Betrachtung unterzogen. Dem Leser wird das Mangelhafte dieser Betrachtung, wenn sie so allgemein geführt wird, nicht entgangen sein. Es hängt nämlich die Stärke der Schwebungen genau ab von der Stärke der Theiltöne, durch welche sie entstehen. Wir können also nichts Genaueres sagen über den Grad des Wohlklanges einer Consonanz, wir können eine Consonanz der andern gegenüber nicht genau abwägen, solange uns die Stärke der einzelnen Theiltöne der Klänge oder mit anderen Worten die Klangfarbe nicht genau bekannt ist. Der Wohlklang der Consonanz hängt, wie hieraus klar hervorgeht, wesentlich von der Klangfarbe der zusammenwirkenden Klänge ab.

Da jedoch alle musikalisch brauchbaren Klangfarben das gemeinsam haben, dass die höheren Theiltöne über den

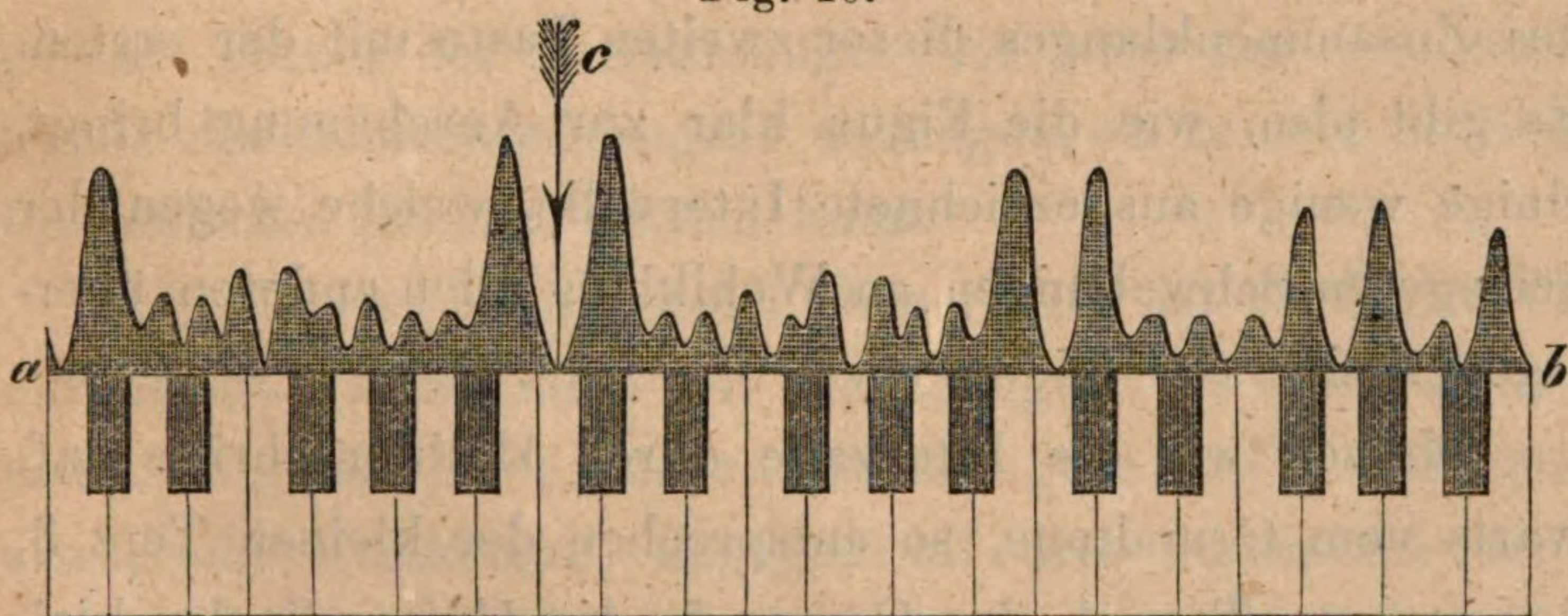
7ten hinaus entweder ganz fehlen oder doch sehr schwach sein müssen, dass ferner die höheren Theiltöne meist viel schwächer sein müssen als die tieferen, so lässt sich nach unseren obigen Betrachtungen wenigstens beiläufig eine allgemein gültige Reihe der Consonanzen aufstellen, in welcher dieselben ihrem Wohlklange nach geordnet sind. Fangen wir mit der wohlklingendsten Consonanz an, so dürfte diese Reihe beiläufig folgende sein:

- 1) Octave.
- 2) Duodecime.
- 3) Doppeloctave.
- 4) Quinte.
- 5) Quarte.
- 6) Grosse Sexte.
- 7) Grosse Terz.
- 8) Kleine Terz.
- 9) Kleine Septime.
- 10) Kleine Sexte.

Die unteren Glieder dieser Reihe schliessen sich unmittelbar an die Dissonanzen an.

Um ein anschauliches Bild von dem Grade des Wohl-

Fig. 10.



klanges der Consonanzen zu gewinnen, betrachte man die Figur 10. Man erblickt in derselben eine Claviatur. Ober

den Tasten derselben sieht man Berge aufgethürmt oder Thäler vertieft. Die Zeichnung hat folgende Bedeutung. Wenn man die *c*-Taste anschlägt, welche durch die Spitze des Pfeiles bezeichnet ist, und wenn man zu dieser irgend eine zweite höhere oder tiefere Taste hinzufügt, so bedeutet die Höhe des Berges ober der Mitte dieser zweiten Taste die Gesamtmasse der Schwebungen, welche dem Zusammenwirken beider Tasten entspricht, also die Rauhigkeit des Zusammenklanges. Die besten Consonanzen zu *c* werden also jene Tasten geben, über deren Mitte sich die tiefsten Thäler befinden. Es sind in der Zeichnung auch solche Töne berücksichtigt, die ihrer Höhe nach zwischen zwei Tasten liegen. Daher befinden sich auch die Gipfel mancher Berge in der Mitte zwischen zwei Tasten.

Die Figur gibt übrigens nicht allein für die Intervalle von *c* auf- oder abwärts den Wohlklang an, sondern sie hat noch eine weitere Bedeutung. Wenn man nämlich die Claviatur nachzeichnet, ausschneidet und mit der obern Seite irgendwie an die Linie *ab* anlegt, so dass die Mitte irgend einer Taste von der Spitze des Pfeiles *c* berührt wird, so bedeutet Berg oder Thal über der Mitte einer andern Taste die Rauhigkeit, beziehungsweise den Wohllaut des Zusammenklanges dieser zweiten Taste mit der ersten. Es gibt also, wie die Figur klar zur Anschauung bringt, einige wenige ausgezeichnete Intervalle, welche wegen der geringeren Schwebungen an Wohlklang allen anderen überlegen sind.

Messen wir die Intervalle durch Halbtonschritte aufwärts vom Grundtone, so entsprechen der kleinen Terz 3, der grossen Terz 4, der Quarte 5, der Quinte 7, der kleinen Sexte 8, der grossen Sexte 9 und der kleinen Septime 10. Die besten Consonanzen geben also Intervalle von

3, 4, 5, 7, 9 Halbtonschritten. Die Intervalle von 8 und 10 Halbtonschritten bilden den Uebergang zu den Dissonanzen.

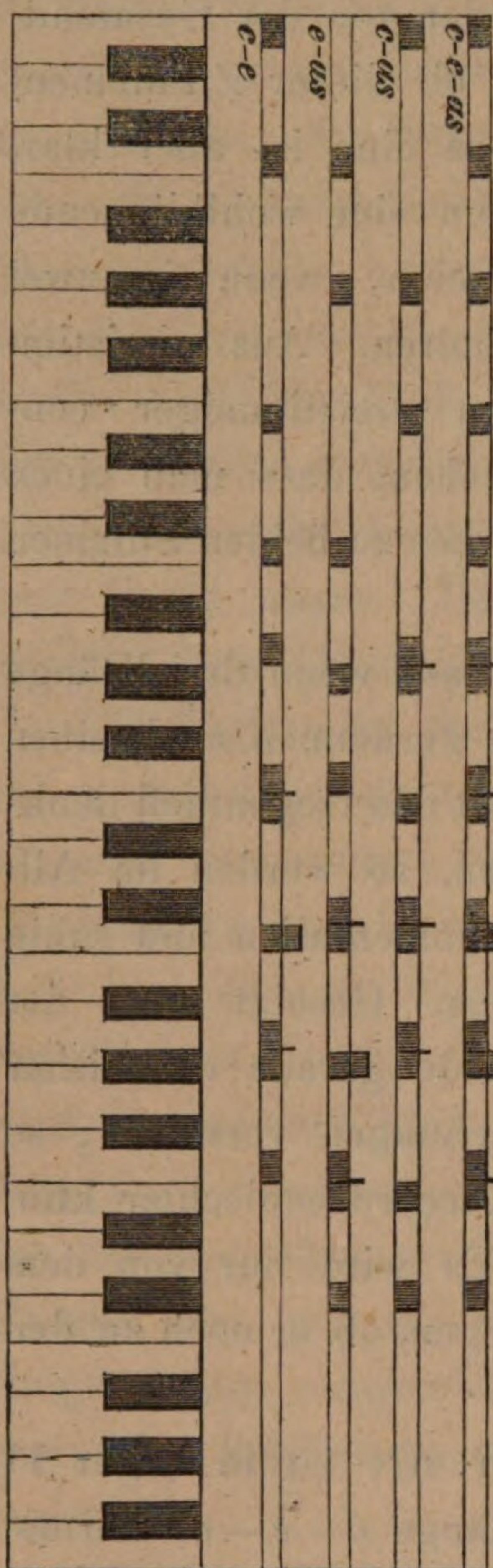
Wenn mehr als zwei Klänge, etwa drei, zusammen erklingen, so wird es natürlich wieder von der Gesamtmasse der Schwebungen abhängen, ob dieser Zusammenklang angenehm ist oder nicht. Das eine ist aber klar, dass wir aus drei Klängen nur dann eine wohlklingende mehrstimmige Harmonie bilden können, wenn je zwei dieser Klänge mit einander consoniren. Aus zweistimmigen Consonanzen kann also ein dreistimmiger consonanter Accord nur dadurch entstehen, dass man einen solchen dritten Klang hinzufügt, welcher zu beiden Stimmen consonirt.

Es ist jedoch nicht nothwendig, dass, wenn drei Klänge zu je zweien consoniren, alle drei zusammen auch einen wohlklingenden Accord geben. Es ist das Gegentheil denkbar. Wenn zwei Klänge consoniren, so werden im Allgemeinen einige ihrer Theiltöne zusammenfallen und ruhig fortönen, während andere schweben. Gesetzt nun, der dritte neu hinzutretende Klang würde gerade die bisher nicht afficirten Theiltöne in Schwebungen versetzen, so muss natürlich dieser dreistimmige Accord schlechter klingen als vorher der zweistimmige. Es wird nur von dem Grade des Schlechterklingens abhängen, ob er noch zu den Consonanzen gezählt werden kann.

Ein lehrreiches Beispiel dieser Art ist in Figur 11 dargestellt. Combiniren wir die Klänge $c-e-as$ harmonisch, so geben $c-e$ und $e-as$ eine gute und $c-as$ eine erträgliche Consonanz, dagegen alle drei zusammen eine ganz unleidliche Dissonanz. Markiren wir wie früher die Theiltöne auf Leisten, so finden wir den Grund hiervon. Während in jedem der Zweiklänge einige Theiltöne unge-

stört bleiben, finden wir in dem Zusammenklange von dreien fünf schwebende Paare von Theiltönen. Wir haben in der

Fig. 11.



Figur bloss die ersten sechs Theiltöne berücksichtigt und die jedem Zusammenklange entsprechenden Theiltöne auf eine Leiste aufgetragen. Wo zwei Theiltöne neben einander fallen, sind die entsprechenden Marken durch einen Strich getrennt; wo zwei Theiltöne zusammenfallen, sind die Marken übereinander gesetzt.

Um also dreistimmige consonante Accorde zu finden, müssen wir alle zweistimmigen Consonanzen hernehmen und versuchen, ob sich nicht ein dritter Klang findet, der zu beiden Stimmen consonirt. Von den so entstehenden Accorden werden wir wol noch einige als nicht wohlklingend ausscheiden müssen, jedenfalls aber werden die übrig bleibenden alle überhaupt möglichen dreistimmigen consonanten Accorde sein.

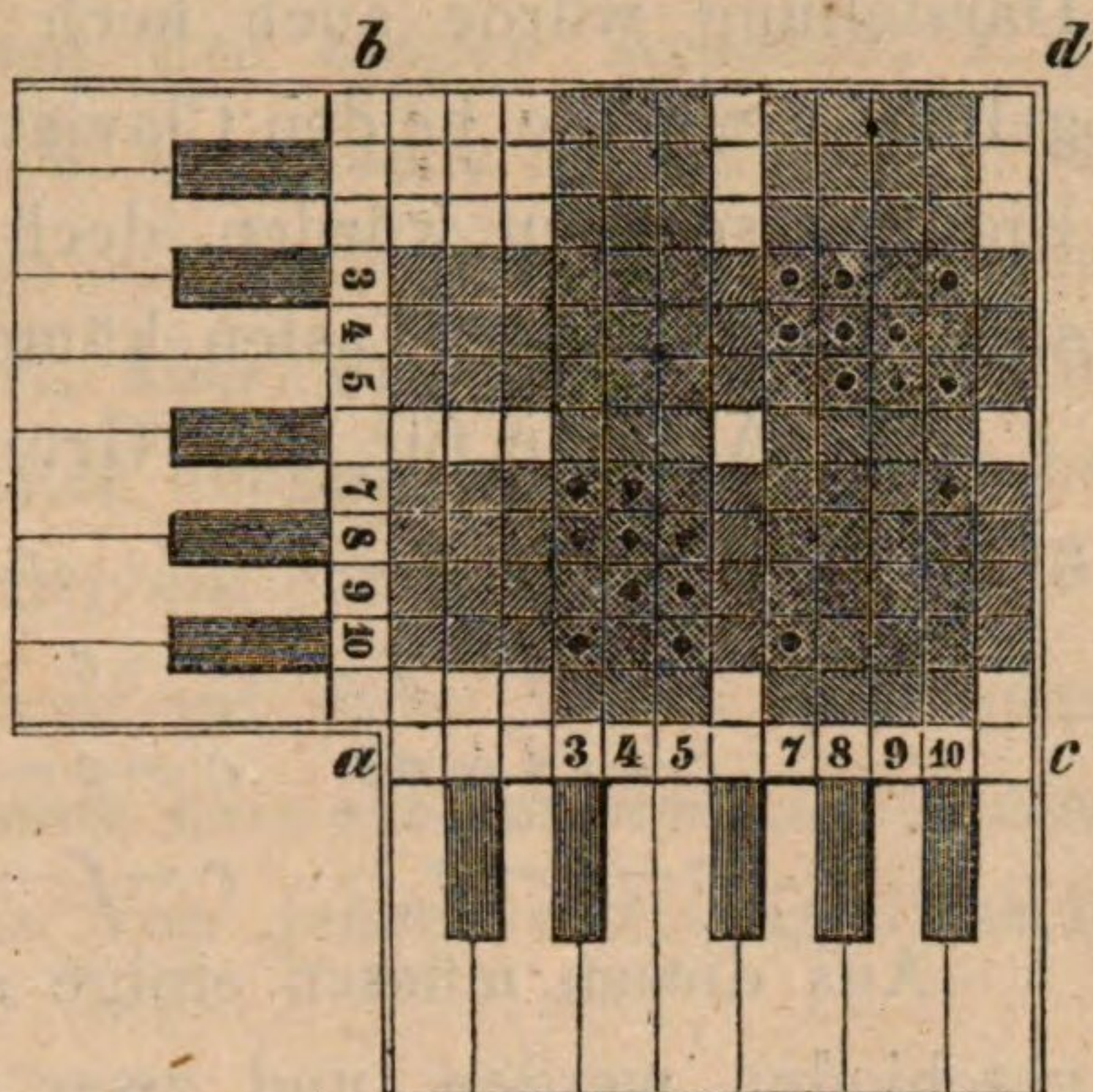
Wir wollen zu diesem Ende ganz systematisch verfahren und hierzu die Fig. 12 benutzen. Von

einer der kleinen Claviaturen gehen horizontale, von der andern gehen verticale Linien aus, wodurch ein in kleine Felder abgetheiltes Quadrat *abcd* entsteht. Begibt man sich in eines dieser Felder, so gelangt man nach links zu einer Taste und

nach unten auch zu einer Taste. Beide Tasten lassen sich mit *c* combiniren. Es soll also jedes Feld mit *c* und den zwei Tasten, zu welchen es führt, einen dreistimmigen Accord vorstellen. Dann gibt das Quadrat *abcd* alle dreistimmigen Accorde, die sich über *c* aufbauen lassen.

Wir wollen jetzt zu jeder Taste die Zahl der Halbtonstufen suchen, welche sie mit *c* bildet, aber bloss dort diese Zahl anschreiben, wo sie eine Consonanz bezeichnet. Um in möglichst weiten Grenzen zu bleiben, rechnen wir auch die kleine Sexte und Septime als Uebergang zu den Dissonanzen noch ein und schreiben also über *e* 3, über *e* 4, *f* 5, *g* 7, *a* 8, *a* 9, *b* 10. Die Streifen, die von diesen consonanten Tasten ausgehen, schattiren wir. Da beide Klänge, welche mit *c* combinirt werden sollen, zu *c* consoniren müssen, so haben wir nun bloss jene Felder zu berücksichtigen, in welchen sich die schattirten Streifen schneiden. Da ferner auch die zwei mit *c* vereinigten Klänge untereinander ein consonantes Intervall bilden müssen, so haben wir erst nachzusehen, in welchen Feldern dies stattfindet. Ein consonantes Intervall bilden aber die beiden Tasten, zu welchen ein Feld führt, offenbar dann, wenn die Differenz der beiden Zahlen ober den Tasten wieder eine der Zahlen 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 ist. Solche Felder, für welche dies stattfindet, versehen wir mit Punkten.

Fig. 12.



Die punktirten Felder bezeichnen also mit *c* und den beiden Tasten, zu welchen sie führen, alle dreistimmigen Accorde, welche möglicherweise consoniren könnten. Die Darstellung würde auch noch für einen andern Grundton gelten, wenn die beiden Claviaturen verlängert und an der Figur verschoben würden, doch so, dass zu gleichen Zahlen auch gleichnamige Tasten kämen.

Die Accorde für den Grundton *c*, welche die Figur gibt, sind folgende:

<i>c—es—g</i>	<i>c—e—as</i>	<i>c—f—a</i>
<i>c—es—as</i>	<i>c—e—a</i>	<i>c—f—b</i>
<i>c—e—g</i>	<i>c—f—as</i>	<i>c—g—b.</i>

Aus diesen müssen einige als nicht wohlklingend ausgeschieden werden, und zwar sind dies die drei Accorde *c—e—as*, *c—f—b* und *c—g—b*. Die Ursache ihres Missklanges wurde oben durch ein Beispiel beleuchtet. Es bleiben also die sechs consonanten Accorde:

<i>c—es—g</i>	<i>c—e—a</i>
<i>c—es—as</i>	<i>c—f—as</i>
<i>c—e—g</i>	<i>c—f—a.</i>

Für irgend einen andern Grundton würde unsere Figur (nach vorausgegangener Verschiebung der Claviaturen) offenbar Accorde von ganz gleicher Structur, d. h. mit ganz gleichen Intervallverhältnissen geben. Um also die Betrachtung allgemeiner zu machen, wollen wir die Accorde nicht in einer bestimmten Tonart schreiben, sondern eine allgemeinere Bezeichnung einführen, indem wir für die Klänge die Zahl der Halbtonstufen setzen, welche ihrem Intervall zum Grundtone entsprechen. Dann müssen wir natürlich den Grundton selbst mit 0, die grosse Terz mit 4, die Quinte mit 7 u. s. f. bezeichnen. Unsere Accorde sind dann:

0—3—7	0—4—9
0—3—8	0—5—8
0—4—7	0—5—9.

Wenn man nun einen der obigen Accorde, z. B. $c—e—g$, "umkehrt", d. h. den Ton e oder g statt c als Grundton nimmt, so werden dabei allerdings die Consonanzverhältnisse etwas geändert, aber wie man sich mit Hilfe der oben angegebenen Mittel überzeugen kann, nicht bedeutend. Es entsteht wieder ein consonanter Accord.

Man bemerkt aber, dass auf diese Weise kein neuer Accord zum Vorschein kommt, kein solcher, dessen Structur, dessen Intervallverhältniss von jenem der obigen sechs abweichend wäre.

Der Accord $c—e—g$ (0—4—7) gibt die Umkehrungen $e—g—c$ (0—3—8) und $g—c—e$ (0—5—9), welche schon in obiger Reihe zu finden sind. Ebenso geht es mit den anderen Accorden.

Es gibt also für einen bestimmten Grundton nur sechs consonante dreistimmige Accorde von der angegebenen Structur, welche sich über denselben aufbauen lassen. Natürlich wird dies hier mit dem Vorbehalt ausgesprochen, dass der Accord den Umfang einer Octave nicht überschreiten soll.

Man nennt in der Harmonielehre die Accorde $c—e—g$ (0—4—7) und $c—es—g$ (0—3—7) Dreiklänge und zwar den ersten Moll-, den zweiten Durdreiklang. Die Accorde $c—e—a$ (0—4—9) und $c—es—as$ (0—3—8) heissen bekanntlich Terzsexten oder Sextenaccorde. Die Accorde $c—f—a$ (0—5—9) und $c—f—as$ (0—5—8) werden Quartsextaccorde genannt.

In der Harmonielehre pflegt man meist alle diese Ac-

corde aus dem Dur- und Molldreiklange durch Umkehrung abzuleiten, etwa nach folgendem Schema:

Durdreiklang: $c - e - g$ Molldreiklang: $c - es - g$

Sextaccord: $e - g - c$ Sextaccord: $es - g - c$

Quartsextacc.: $g - c - e$ Quartsextacc.: $g - c - es$.

Durch Transposition nach As-dur, F-dur, A-moll und F-moll erhält man wieder die obige Reihe, von der wir ausgegangen sind.

Dreistimmige consonante Accorde, welche den Umfang einer Octave überschreiten, können keine anderen Klänge enthalten als die auf eine Octave beschränkten, weil über die Octave hinaus nur solche Intervalle consoniren, bei welchen dies auch innerhalb einer Octave eintritt.

Vierstimmige consonante Accorde entstehen, indem ein Klang eines dreistimmigen consonanten Accordes in einer andern Octave verdoppelt wird. Vierstimmige consonante Accorde im Umfange einer Octave gibt es nicht, und daher sind auch über die Octave hinaus solche Accorde nur durch Verdoppelungen möglich.

Bei den bisherigen Sätzen über die consonanten Accorde wurde bloss auf jene Schwebungen Rücksicht genommen, welche durch die Theiltöne der combinirten Klänge entstehen. In der That sind diese die wichtigsten, und es lassen sich die ersten Grundsätze der Harmonielehre feststellen, wenn man bloss diese Schwebungen betrachtet. Wo es aber auf feinere Betrachtungen ankommt, müssen auch jene Störungen berücksichtigt werden, welche durch die bereits besprochenen Combinationstöne eingeführt werden.

Es lässt sich dies leicht durch einige Beispiele klar machen. Helmholtz hat die Lagen und Umkehrungen der Dur- und Molldreiklänge zusammengestellt, welche sich

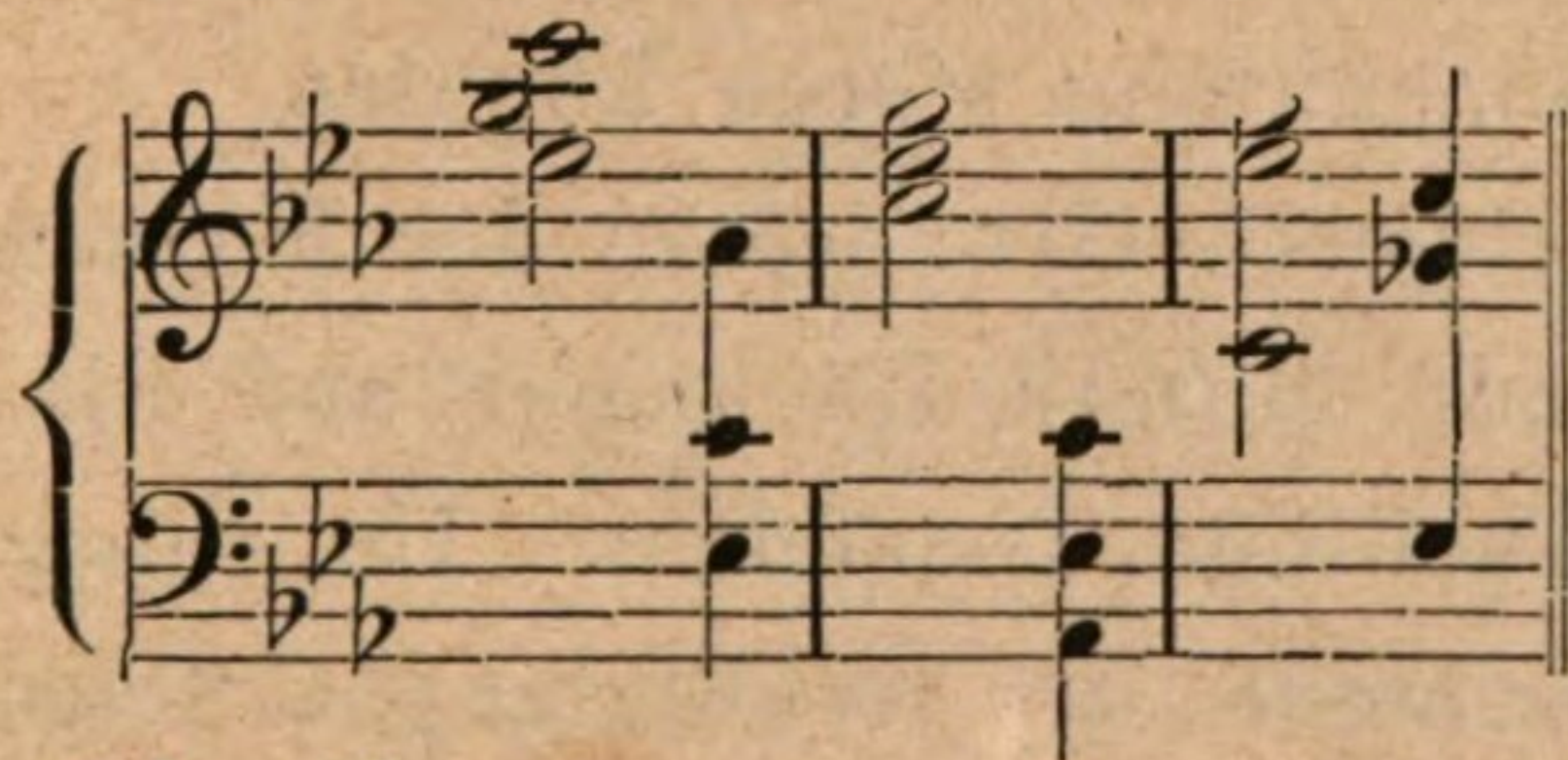
durch Wohlklang vor andern auszeichnen. Wir lassen dieselben folgen:



Die Accorde sind durch Halbnoten angegeben, die Combinationstöne durch Viertelnoten. Die sämtlichen Combinationstöne fallen sozusagen in den Accord hinein. Diese Lagen zeichnen sich deshalb vor den folgenden, in welchen dies nicht stattfindet, durch besondern Wohlklang aus.



Für die Mollaccorde bestehen ähnliche Verhältnisse. Es klingen z. B. die Lagen



besser als die folgenden



u. s. w.

Es bleibt jedoch zu bemerken, dass die Mollaccorde sich nie von störenden Combinationstönen ganz frei halten lassen, wie auch die Notenbeispiele ersichtlich machen. Wohlklingender sind aber diejenigen Lagen, die nur einen solchen störenden Combinationston enthalten.

Auf gleiche Weise hat Helmholtz die vierstimmigen Accorde untersucht und die Erklärung für eine Anzahl feinerer Regeln der Harmonielehre gefunden, für welche dieselbe bisher keine Gründe anzuführen wusste.

Das Wichtigste dieses Abschnittes zusammenfassend können wir folgende Sätze feststellen:

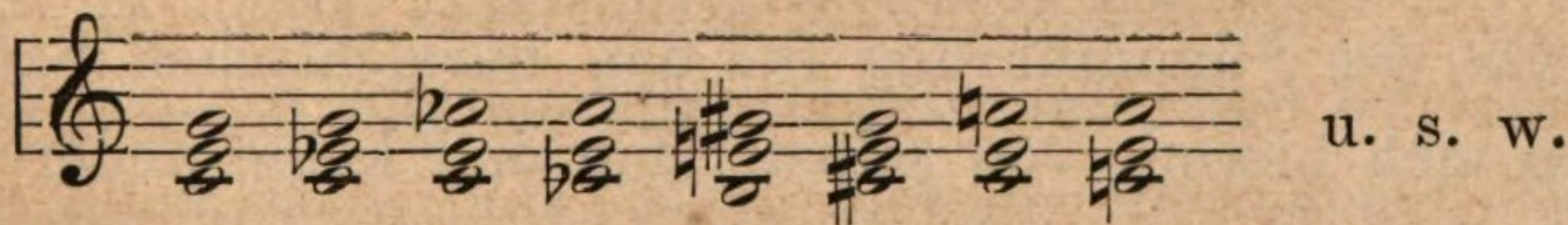
- 1) Wenn mehrere Klänge zugleich angegeben werden, so entstehen im Allgemeinen durch die gegenseitigen Störungen der Theiltöne Schwebungen, welche den Zusammenklang rauh, zu einer Dissonanz machen.
- 2) Consonanzen entstehen nur bei gewissen Intervallverhältnissen der zusammenwirkenden Klänge, wenn nämlich einige Theiltöne ganz zusammenfallen, andere so weit von einander liegen, dass keine merklichen Schwebungen zu Stande kommen, welche den Zusammenklang stören könnten.
- 3) Die gröberen Grundsätze der Harmonielehre lassen sich mit blosser Rücksicht auf die Schwebungen der Theiltöne feststellen. Um aber über feinere Unterschiede des Wohlklanges theoretisch zu urtheilen, müssen auch die schwächeren Störungen durch die Combinationstöne in Betracht gezogen werden.

Die Harmoniefolge und die Stimmführung.

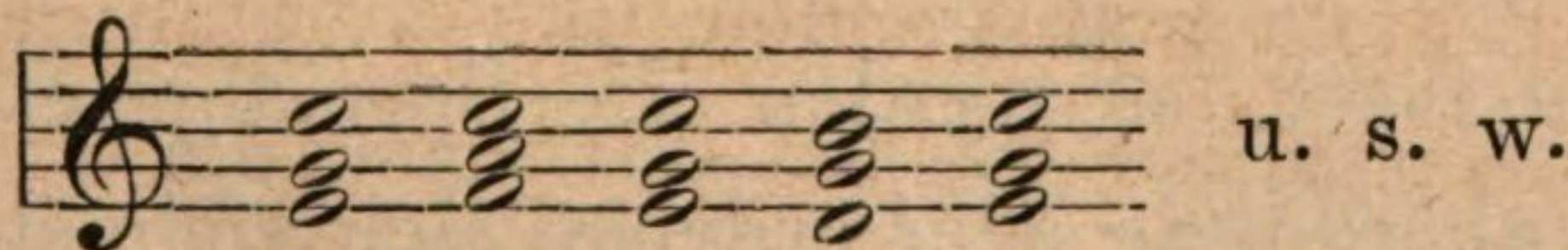
Die Verwandtschaft der Klänge beruht auf dem Zusammenfallen ihrer Theiltöne. Verwandte Klänge eignen sich besonders zur melodischen und harmonischen Verbindung. In ersterer befremdet ihre Aufeinanderfolge weniger das Ohr als jene nicht verwandter Klänge, und in der zweiten Art der Verbindung stören sich durch die Schwebungen verwandte Klänge weit weniger als nicht verwandte.

Auf der Verwandtschaft der Klänge beruht nun auch die Harmoniefolge. Am angenehmsten für das Ohr ist die Folge von Harmonien, deren Klänge unter einander verwandt sind, in welchen also ganze Klänge oder doch Theiltöne derselben zusammenfallen. Wir wollen uns dies durch einige Beispiele klar machen.

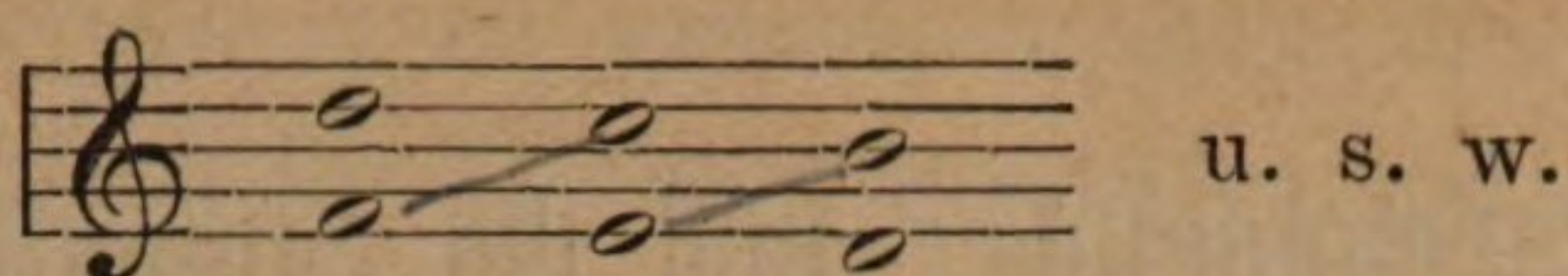
Wir können eine Harmoniefolge von sehr angenehmer Wirkung leicht dadurch erhalten, dass wir irgend eine dreistimmige Harmonie anschlagen und nun immer durch die Veränderung eines einzigen Tones derselben zu anderen Harmonien fortschreiten. Eine solche Harmonienfolge wäre zum Beispiel:



Auch durch Veränderung zweier Stimmen in einer dreistimmigen Harmonie erhalten wir gute Folgen:

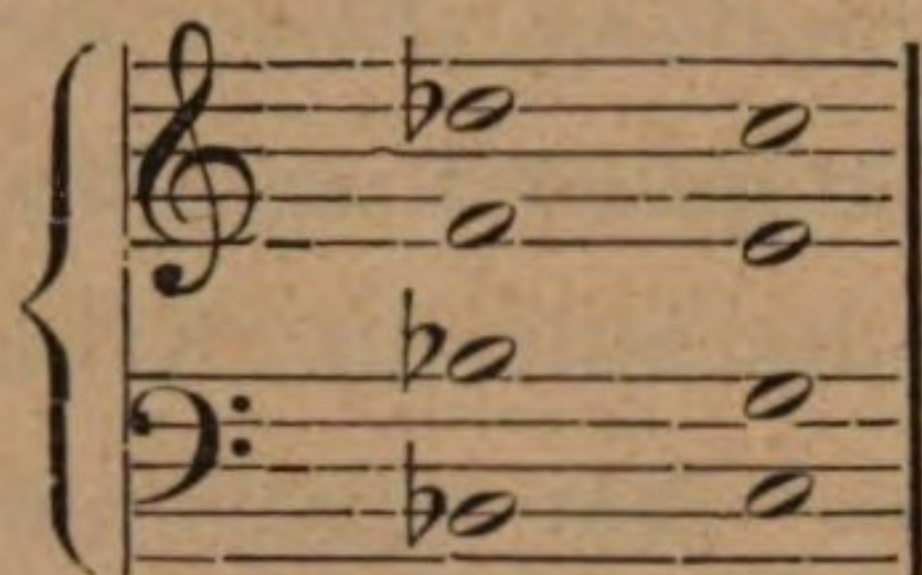


Schon das blosse Zusammenfallen von Theiltönen der Klänge zweier Harmonien genügt, um die Folge derselben dem Ohre angenehmer zu machen:



In diesem Satze ist immer ein Klang der folgenden Harmonie eine Quinte zu einem Klang der vorhergehenden. Es fallen also Theiltöne der vorhergehenden mit Theiltönen der folgenden Harmonie zusammen.

Ein anderes Beispiel einer Folge verwandter Harmonien, jedoch mit durchaus verschiedenen Klängen, gibt der folgende Satz:



Es fallen hier 5 Theiltöne der ersten Harmonie mit 5 Theiltönen der zweiten zusammen.

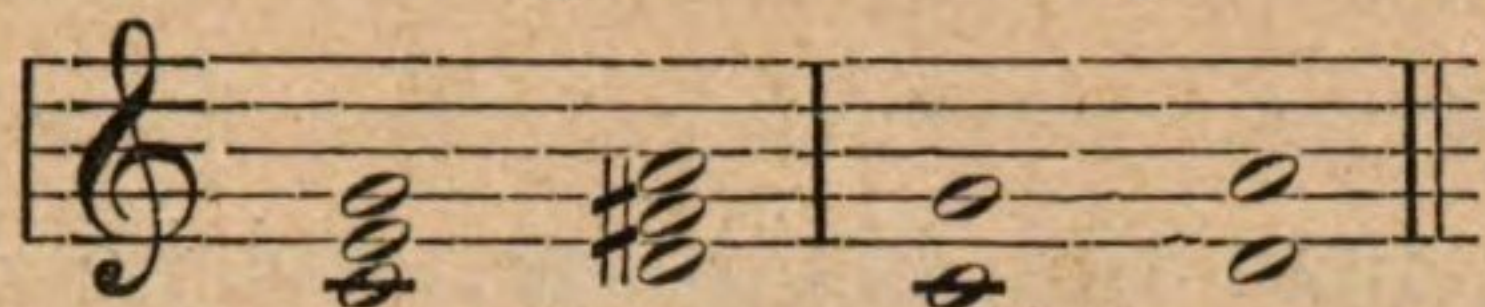
Die Verwandtschaft der Harmonien reducirt sich also ganz allgemein wie jene der Klänge auf das Zusammenfallen von Theiltönen. Sie ist grösser oder kleiner, je nachdem mehr oder weniger Theiltöne zusammenfallen.

Die Forderung, dass möglichst verwandte Harmonien sich folgen sollen, ist natürlich am vollkommensten erfüllt, wenn jede Stimme einer Harmonie für sich allein zu den nächstliegenden und verwandtesten Stufen fortschreitet. Die Gesetze der Stimmführung für den harmonischen Satz ergeben sich hiermit von selbst. Sie sind keine anderen als für den einstimmigen Satz.

Wenn man nur die Hauptregel stets befolgt und jede Stimme zu den nächstliegenden und verwandtesten Stufen fortschreiten lässt, so werden die Specialgesetze der Harmonielehre überflüssig oder ergeben sich vielmehr als selbstverständlich aus dieser Hauptregel. Es ist z. B. die herrschende Ansicht unter den neueren Harmonikern, dass das Verbot der Quintenparallelen sich von selbst immer befolgt,

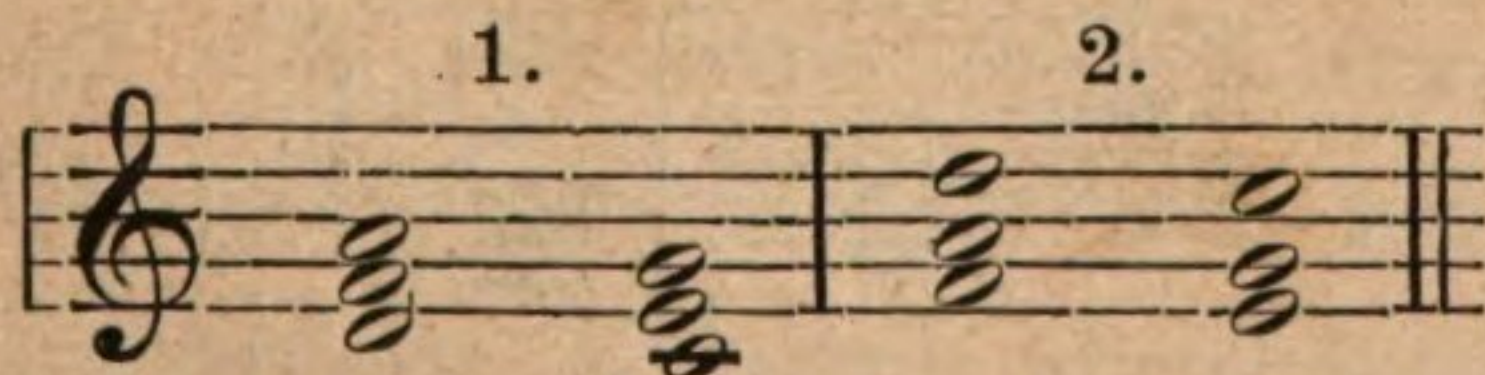
wenn die einzelnen Stimmen zu den verwandtesten und nächstliegenden Stufen fortschreiten.

Die verbotene Quintenparallele entsteht bekanntlich, wenn man zwei Stimmen einer Harmonie, die eine Quinte bilden, beide so fortschreiten lässt, dass sie nach dem nächsten Schritte wieder im Quintenintervall stehen. Eine solche Quintenparallele stellt folgendes Beispiel dar:



Die unangenehme Wirkung der Quintenparallele wird von den heutigen Harmonikern verschieden erklärt. Einige suchen die Ursache in der mangelhaften Führung der einzelnen Stimmen, die meisten aber darin, dass man beim Quintenschritte aus der Tonart fällt. Alle richtigen Ansichten über die Quintenparallele lassen sich aber auf einen einzigen Ausdruck bringen, indem man sagt: bei der Quintenparallele folgen sich Harmonien von geringer Verwandtschaft. „Mangelhafte Stimmführung“ und „aus der Tonart fallen“ drücken dasselbe aus. Mangelhafte Stimmführung bedeutet einen Fortschritt zu wenig verwandten Stufen. Eine Tonart fasst die verwandtesten Klänge zusammen. Aus der Tonart fallen heisst also einen Schritt zu wenig verwandten Klängen machen.

Man kann sich wirklich überzeugen, dass bei Quintenparallelen weniger verwandte Klänge aufeinander folgen, weniger Theiltöne der sich folgenden Harmonien zusammenfallen als bei anderen gefälligeren Harmonieschritten.

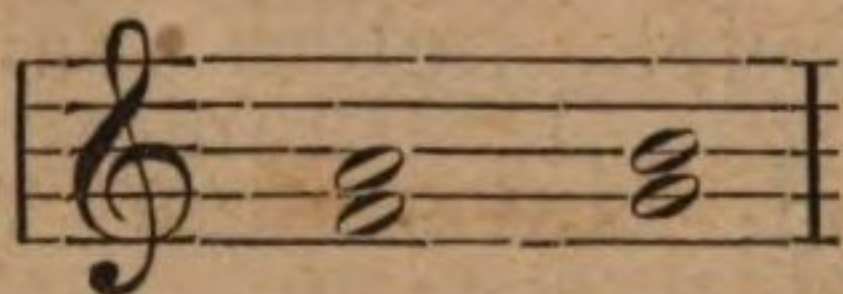


Untersuchen wir in dem Beispiel 1 die Intervalle, welche jeder Klang der einen Harmonie zu jedem Klänge der an-

dern bildet, so finden wir darunter drei Quarten und eine grosse Sexte. In dem Beispiel 2 hingegen, welches dieselbe Harmoniefolge in einer andern Lage mit Ausschluss der Quintenparallele enthält, finden wir zwei Quinten, eine Quarte und eine kleine Terz. Quinten sind aber verwandtere Intervalle als Quarten, der Harmonieschritt 2 also theoretisch besser denn der Harmonieschritt 1, und ebenso urtheilt das Ohr.

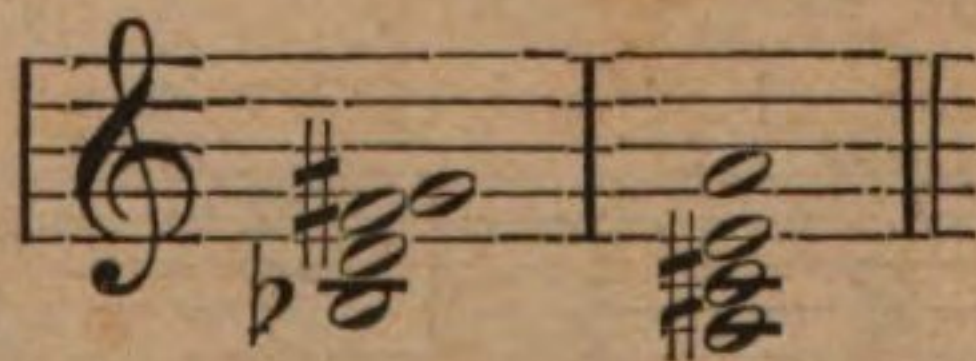
Untersucht man die Theiltöne, welche die beiden aufeinander folgenden Harmonien gemeinschaftlich haben, so finden wir in 1 drei gemeinschaftliche Theiltöne, in 2 aber sechs. Darum klingt also der Schritt 2 um soviel besser.

Das Zusammenfallen der Theiltöne begründet wesentlich das Angenehme eines Harmonieschrittes; wo es fehlt, wird der Schritt unangenehm auch ohne Quintenparallele.



Die Terzenfolge in obigem Beispiele klingt mindestens eben so unangenehm als irgend eine Quintenparallele. In der That haben die beiden Harmonien keine gemeinschaftlichen Theiltöne. Es müssen erst andere untereinander verwandte Klänge hinzutreten, damit diese Folge erträglich werde.

Andererseits stört eine Quintenparallele nicht mehr, wenn die anderen Stimmen der Harmonie mit ihren richtigen Schritten überwiegen. Betrachten wir das Beispiel:



Hier haben wir allerdings die Quintenparallele $\begin{matrix} f & - & e \\ b & - & a \end{matrix}$, welche jedoch nicht störend wirkt, weil die übrige Masse

der Harmonie überwiegt. Es fallen auch sechs Theiltöne der ersten Harmonie mit jenen der zweiten zusammen. Wir finden unter den Intervallen, welche die Klänge der einen Harmonie mit jenen der andern bilden, zwei Quinten, eine Quart, drei grosse Terzen, eine kleine Terz, eine kleine Sexte. Man kann also nicht sagen, dass die beiden Harmonien keine Verwandtschaft zu einander hätten. Der Schritt klingt auch sehr schön trotz der Quintenparallele.

Das Quintenverbot ist überhaupt nicht ein ursprüngliches, sondern nur ein abgeleitetes Gesetz der Harmonielehre, welches, wenn man dessen Grund nicht im Auge behält, auch zu Irrthümern verleiten kann. Sehr schön wurde diese Frage von Ambros in einer kleinen Schrift behandelt (Zur Lehre vom Quinten-Verbote. Leipzig, Heinrich Matthes).

Wir haben nun aus der Thatsache, dass die Klänge sich als zusammengesetzt aus Tönen erweisen, in welche das aufmerksame Ohr sie zu zerlegen vermag, einige für die Musiktheorie wichtige Lehren abgeleitet.

1. Klänge, welche gleiche Tonbestandtheile enthalten, erscheinen dem Ohre verwandt.
2. Verwandte Klänge findet das Ohr besonders geeignet zur melodischen Verbindung.
3. Die Tonleitern aller Zeiten enthielten immer eine Auswahl untereinander besonders verwandter Klänge.
4. Auch zur harmonischen Verbindung eignen sich am besten verwandte Klänge, indem diese im Zusammenklänge sich am wenigsten stören.
5. Zur Aufeinanderfolge eignen sich solche Harmonien, welche verwandte Klänge, also gleiche Tonbestandtheile, enthalten.

Es ist also schon diese einzige Thatsache für die Musik-

theorie sehr fruchtbar. Eine Forderung, welche das Ohr immer und überall stellt, ist die Vereinigung des Aehnlichen. Dies ist jedoch nicht die einzige Forderung. Damit sind nicht alle Momente gegeben. Denn sonst müsste die Musik einfach beim ewigen Einklange stehen bleiben.

Das Ohr fordert auch eine gewisse Mannigfaltigkeit. Schon in die Tonleiter und auch in die Melodie werden auch minder verwandte Klänge aufgenommen. Die Consonanzen treten in Gesellschaft mit Dissonanzen, die Folge verwandter Harmonien wird durch minder verwandte unterbrochen. Es wäre nicht consequent, wollte man das Streben nach dem Aehnlichen in der Physik des Ohres, das Streben nach dem Mannigfaltigen aber in dem noch vagen Begriff des Geschmackes suchen. Auch da muss die Physik Auskunft geben können.

In der That wurde auch bereits oben erwähnt, dass erst eine Eigenschaft des Ohres, die Fähigkeit Klänge in Töne zu zerlegen, genauer untersucht sei. Andere Eigenschaften, die sich als noch unerklärte Thatsachen aufdrängen, der Tonhörensinn zum Beispiel und der Intervallensinn, wurden noch wenig beachtet. Auf diese wird man in Zukunft die Aufmerksamkeit zu richten haben.

Die reine und die temperirte Stimmung.

In den vorhergehenden Untersuchungen wurde stillschweigend an der Claviatur, die wir stets verwendet haben, die gleichschwebende Temperatur vorausgesetzt, denn nur dann sind die Betrachtungen für alle Tonarten an derselben durchführbar. Ferner wurden der Einfachheit wegen

auch die Obertöne in der temperirten Stimmung angenommen, denn nur in dieser Stimmung fallen die Obertöne mit Tönen unserer Claviatur zusammen.

In der That sind die Unterschiede der reinen und gleichschwebend temperirten Stimmung so gering, dass man sie für die meisten Betrachtungen vernachlässigen kann. Wir hätten auch, wollten wir die Untersuchung mit Rücksicht auf diese Unterschiede durchführen, nur unbedeutende Correcturen anzubringen. So z. B. haben wir unter Annahme der gleichschwebenden Temperatur eine sehr geringe Verwandtschaft der übermässigen Quarte zum Grundtone gefunden, während mit Rücksicht auf die reine Stimmung gar keine Verwandtschaft besteht, weil die Theiltöne des Grundtons und der übermässigen Quarte in dieser Stimmung gar nicht zusammenfallen.

Um ganz genau zu sein, müssen aber die erwähnten Unterschiede in Betracht gezogen werden. Dies wollen wir versuchen. Zuvor aber wollen wir uns die Natur der temperirten Stimmung klar machen.

Betrachten wir eine diatonische Tonleiter, z. B.:

<i>C,</i>	<i>D,</i>	<i>E,</i>	<i>F,</i>	<i>G,</i>	<i>A,</i>	<i>H,</i>	<i>C</i>
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

Die darunter geschriebenen Brüche haben die bekannte Bedeutung. Der Bruch $\frac{9}{8}$ unter *D* bedeutet, dass die Secunde *D* $\frac{9}{8}$ mal so viel Schwingungen in derselben Zeit ausführt, als der Grundton *C*, oder dass auf eine Schwingung von *C* immer $\frac{9}{8}$ Schwingungen von *D* fallen.

Man kann also eine reine diatonische Scala construiren, indem man zu irgend einem Tone als Grundton eine Secunde sucht, die $\frac{9}{8}$ mal so viel Schwingungen macht, eine Terz, die $\frac{5}{4}$ mal so oft schwingt u. s. w. Die Construction der Scala gelingt aber noch auf eine andere Weise, welche

früher schon besprochen wurde, zwar nicht genau, aber doch beiläufig.

Die Terz E zu C kann man construiren, indem man zu C die Quinte G , zu G die Quinte D , dann die Quinte A und endlich E bildet. Wenn man nun um zwei Octaven abwärts schreitet, so findet man ein E , welches zwar nicht genau, aber doch nahezu mit der Terz E von C zusammentrifft. Das im Quintenschritt gefundene E bildet zum Grundton C das Intervall $\frac{81}{64}$, d. h. es macht auf 64 Schwingungen des Grundtons 81. Man berechnet es leicht, wenn man die vier Quintenschritte aufwärts und zwei Octavenschritte abwärts berücksichtigt und findet:

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{81}{64}.$$

Die reine Terz E zu C gibt aber das Intervall $\frac{5}{4}$ oder $\frac{5 \cdot 16}{4 \cdot 16}$ oder $\frac{80}{64}$. Es ist also die im Quintenschritt gefundene Terz E um das Intervall $\frac{81}{80}$ höher als die reine Terz, oder die im Quintenschritt gefundene Terz macht 81 Schwingungen auf 80 Schwingungen der reinen Terz.

Ebenso wie die Terz können auch die anderen Intervalle der diatonischen Leiter noch im Quintenschritt gefunden werden, und man kann sich leicht überzeugen, dass sie zum Theil mit den reinen Intervallen nicht übereinstimmen. So z. B. ist die im Quintenschritt $C—G—D—A$ gefundene Sexte wieder um $\frac{81}{80}$ höher, als die reine Sexte. Auch der Ton C kann durch eine Reihe von 12 Quinten wiedergefunden werden, ist aber dann etwas höher (beiläufig um $\frac{81}{80}$) als das ursprüngliche C und wird zum Unterschiede *His* genannt.

Man lernt aus diesen Betrachtungen, dass die Töne einer Tonleiter streng genommen nicht für eine andere Tonleiter gebraucht werden können. Die Terzen und Sex-

ten der einen Tonleiter z. B. sind nicht zugleich als Quinten einer andern richtig und umgekehrt. Nun drängen aber die Tasteninstrumente dazu, mit möglichst wenig Tönen auszukommen, und so hat man sich denn entschliessen müssen, die Töne der einen Tonleiter zugleich für die andere zu verwenden, auch wenn sie in dieser nicht ganz genau sind. Um aber die Fehler möglichst klein zu machen, hat man sie auf 12 Tonarten gleichmässig vertheilt. Indem man die Octave in 12 ganz gleiche Stufen eintheilt, erhält man ziemlich richtige Intervalle für alle 12 Tonarten. Man nennt diese Stimmung bekanntlich die gleichschwebende Temperatur.

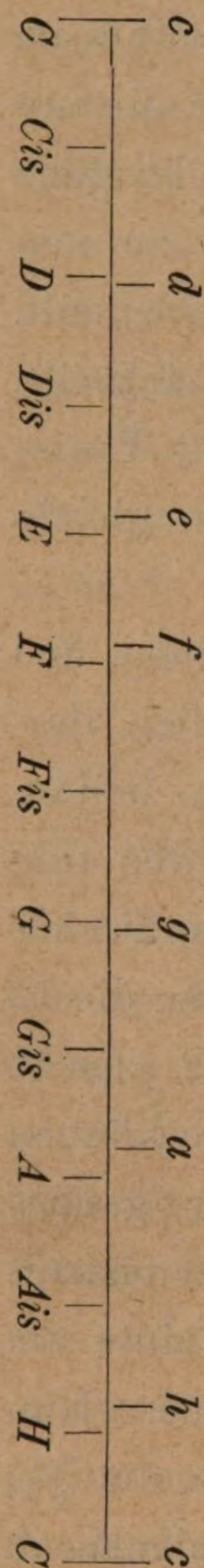
Wir wollen uns nun die Unterschiede der reinen und temperirten Stimmung übersichtlich und anschaulich darstellen. Bedenken wir, dass zwölf Quintenschritte beiläufig zur siebenten Octave führen. Aber die 12 Quinten führen um etwa $\frac{1}{5}$ eines Halbtons höher (ein pythagoräisches Komma oder $\frac{81}{80}$) als die 7 Octaven. Machen wir nun die 12 Quinten alle etwas kleiner, so dass wir nun durch 12 gleiche Quinten wirklich zur siebenten Octave gelangen, so können wir mit Hilfe dieser temperirten Quinten unser ganzes gleichschwebendes System von 12 Halbtonstufen construiren. Hieraus ergibt sich, dass eine temperirte Quinte um etwa $\frac{1}{60}$ eines Halbtons kleiner sei, als eine reine. Nun ist noch zu bemerken, dass die reinen Intervalle um $\frac{81}{80}$, also um $\frac{1}{5}$ Halbton von der durch Quinten gefundenen in bekannter Weise abweichen. Dies genügt zur klaren Darstellung der reinen Stimmung.

In Fig. 13 bedeutet *cc* die Octavenlänge einer Claviatur. Diese Octave sei in 720 gleiche Tonstufen abgetheilt und mit ebensoviel Tasten versehen, so dass man um $\frac{1}{60}$ einer Halbtonstufe fortschreitet, wenn man von einer Taste

zu einer nächsthöheren übergeht. Von *C* ausgehend hat man also 60 Tasten bis *Cis* zurückzulegen. Wir bezeich-

nen nun die Orte der Tasten, welche den temperirten Halbtonstufen entsprechen, mit grossen Buchstaben und Strichen nach unten, die kleinen Buchstaben und die Striche nach oben sollen die Stufen einer reingestimmten diatonischen Scala bedeuten. Zwischen je zwei Halbtönen *C*—*Cis*, *Cis*—*D* u. s. w. liegen je 59 Tasten, deren je zwei benachbarte im Intervall von $\frac{1}{60}$ Halbton stehen.

Die Töne *C* und *c* sollen zusammenfallen. Dann liegt offenbar die reine Quinte *g* von *c* um $\frac{1}{60}$ Halbton aufwärts von der temperirten Quinte *G*, also eine Taste aufwärts von *G*. Die Quinte von *g*, nämlich *d*, das reine *d* der diatonischen Scala, wird $\frac{2}{60}$ ober *D*, also zwei Tasten von *D* aufwärts liegen. Die reine Quinte von *d* liegt 3 Tasten ober *A*. Das reine *a* der diatonischen Scala aber liegt $\frac{1}{5}$ Halbton oder $\frac{12}{60}$ unter dieser Quinte. Demnach haben wir *a* 9 Tasten oder $\frac{9}{60}$ Halbtonstufen unter dem temperirten *A* zu suchen. Auf diese Weise können wir die ganze Scala construiren. In dem Folgenden sollen die Ergebnisse zusammengestellt werden.



Die reine Secunde liegt	$\frac{2}{60}$	Halbtonstufen über	der tempe- rirten.
„ „ gr. Terz „	$\frac{8}{60}$	„ unter	
„ „ Quart „	$\frac{1}{60}$	„ unter	
„ „ Quinte „	$\frac{1}{60}$	„ über	
„ „ gr. Sexte „	$\frac{9}{60}$	„ unter	
„ „ gr. Septime „	$\frac{7}{60}$	„ unter	

Man wird nun leicht einsehen, welche Veränderungen an unseren Betrachtungen über die Verwandtschaft der Klänge und die Consonanz derselben anzubringen sind in Folge der Bemerkung, dass die Obertöne gegen den Grundton rein gestimmt seien. Wir werden in den von uns angewandten Modellen die Obertöne etwas unter und ober die Tasten der gleichnamigen temperirten Töne zu setzen haben, wie dies die obige Tabelle angibt. Die Theiltöne zweier Klänge fallen aber dann nicht mehr zusammen, wenn diese Klänge, wie früher stillschweigend vorausgesetzt wurde, temperirte Intervalle mit einander bilden, sondern wenn die Intervalle etwas abweichende sind. Man findet leicht, dass die Theiltöne zweier Klänge vollständig nur dann zusammenfallen, wenn diese eine reine Terz, Quart, Quinte, Sexte bilden. Bei den gleichnamigen temperirten Intervallen liegen die Theiltöne so nahe aneinander, dass dies Verhältniss von der reinen Consonanz nur schwer zu unterscheiden ist.

Dies lässt sich noch auf eine andere Weise klar machen. Die Obertöne eines Klanges sind bekanntlich die Octave, Duodecime, Doppeloctave, Terz, Quint, Septime der Doppeloctave u. s. w. des Grundtons. Die Obertöne bilden also immer dieselben Intervalle zum Grundton, von welcher Höhe derselbe auch sein mag. Immer macht der erste Oberton 2 Schwingungen auf eine des Grundtons, der zweite Oberton 3, der dritte 4, der vierte 5, der fünfte 6 u. s. f. Nehme ich also jetzt zu irgend einem Klange seine reine Quinte, so macht sein Grundton $\frac{3}{2}$ Schwingungen auf eine des Grundtons jenes ersten Klanges, die Obertöne dieses zweiten Klanges aber machen gleichzeitig beziehungsweise 3, 9, 12 ... Schwingungen. Man sieht also, dass der zweite Oberton des ersten Klanges und der erste des

zweiten gleichviel Schwingungen machen, d. h. dass sie zusammenfallen. Dies würde nicht mehr stattfinden, wenn das Intervall der beiden Grundtöne von $\frac{3}{2}$ ein wenig abweichen würde, wenn z. B. die temperirte Quinte an die Stelle der reinen träte.

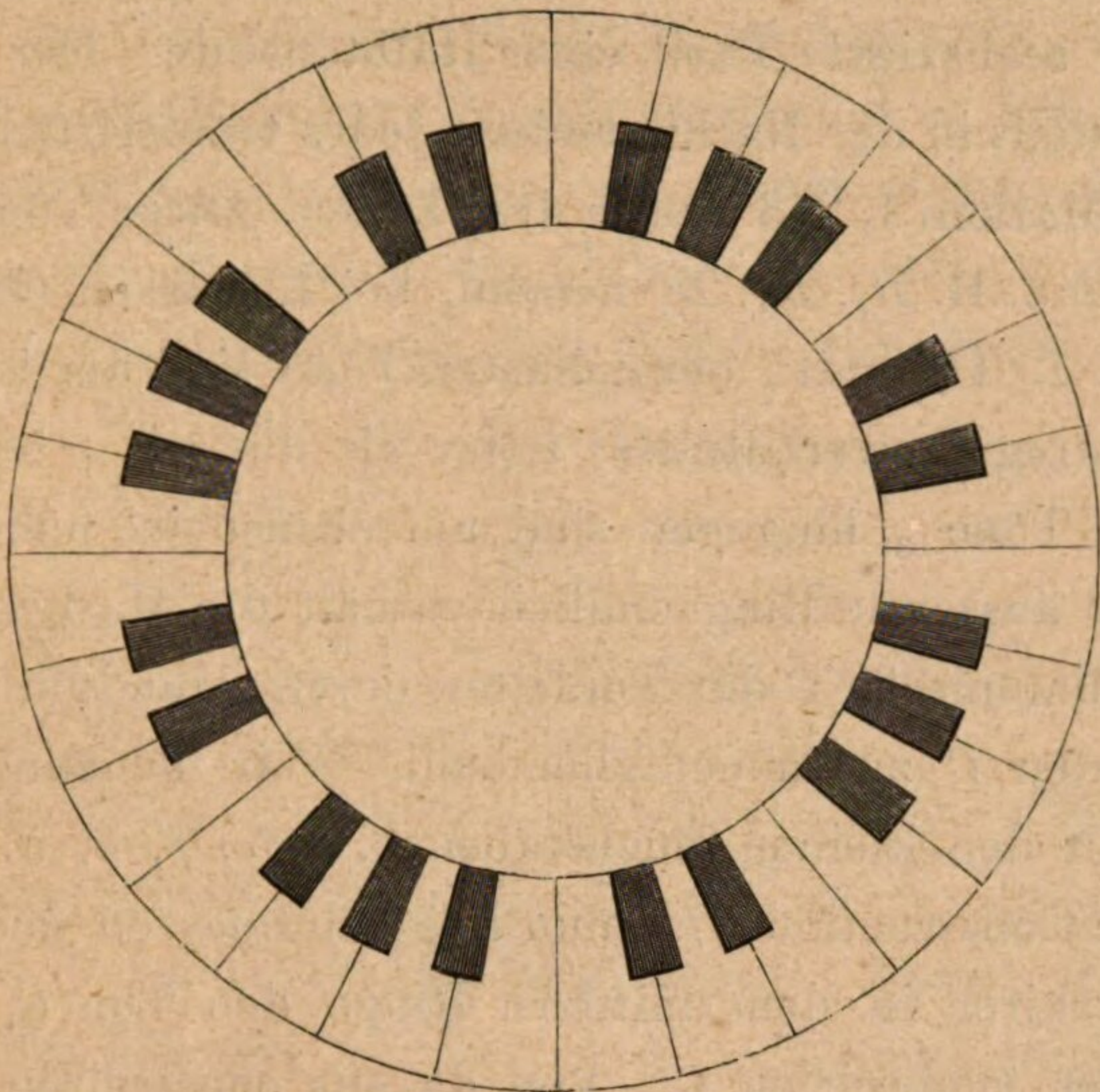
Die temperirte Stimmung gewährt viele Vorthelle bei der Anfertigung und Behandlung der Tasteninstrumente, namentlich bei Ausführung der an Modulation so reichen modernen Musik. Aber das feinere musikalische Ohr erkennt doch die Beeinträchtigung des Wohlklanges der Harmonie durch die Temperatur. Man hat sich deshalb auch vielfach Mühe gegeben, an Tasteninstrumenten eine reinere Stimmung, wenn auch mit Aufopferung der Einfachheit und Bequemlichkeit, herzustellen.

Es wurden bereits verschiedene Orgeln construirt, auf welchen man in mehreren Tonarten in reiner Stimmung spielen und Modulationen ausführen kann, so von Poole und Perronet Thompson. Die Orgel von Perronet Thompson hat 40 Pfeifen für die Octave, um allen Tonarten zu genügen, drei Manuale und 65 Tasten in der Octave. Helmholtz hat mehrere Systeme der reinen Stimmung erdacht und dieselben bei einem Harmonium zur Anwendung gebracht. Es kommt natürlich hierbei darauf an, innerhalb welcher Grenzen man rein zu spielen wünscht.

Wir wollen versuchen, ein solches System der reinen Stimmung uns beispielsweise zu construiren. Dies soll wieder an einer Art Modell anschaulich gemacht werden, indem wir uns die Intervalle durch Tastenabstände an einer Claviatur versinnlichen oder die Grösse der Intervalle durch die Länge von Linien darstellen. Die Construction des Systems soll mit Hilfe von Quintenschritten ausgeführt werden. Da nun solche Quintenschritte weit über das Gebiet

einer Octave hinausführen und da es schliesslich doch nur auf die Construction einer Octave ankommt, so wollen wir uns die Sache durch einen besondern Kunstgriff erleichtern, der in Fig. 14 dargestellt ist. Die Claviatur in Fig. 14

Fig. 14.



läuft im Kreise herum in sich selbst zurück, und man kann, da sich in jeder Octave ganz die Verhältnisse der vorigen wiederholen, an derselben alle Betrachtungen durchführen, die man an einer nach beiden Seiten unendlichen Claviatur anstellen kann. Ja wir wollen uns die Sache noch einfacher machen und eine einzige Octave an dem Umfange des Kreises in sich zurücklaufen lassen.

Das System ist in der beiliegenden Tafel dargestellt. Der Umfang des Kreises bedeutet die Länge einer in sich zurücklaufenden Octave mit 720 Tasten, von welchen je zwei aufeinander folgende ein Intervall von $\frac{1}{60}$ einer Halbtonstufe bilden. Der innerste Kreis mit seinem Stern markirt die temperirten Halbtonstufen, die wir mit

den grossen Buchstaben *C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais, H* bezeichnen. Der Abstand von je zwei Halbtonstufen, *C* und *Cis* z. B., ist am Umfange des Kreises in 5 gleiche Theile getheilt, in deren jedem wir uns also noch 12 Tasten vorzustellen haben. Ein $\frac{1}{12}$ eines solchen Fünftheiles ist also der sechzigste Theil einer Halbtonstufe. Der mittlere Ring enthält in der Nachbarschaft jedes temperirten Halbtones die Marken 1, 2, 3 von je drei Tönen. Diese Töne wollen wir bei *D* z. B. D_1, D_2, D_3 nennen, bei *E* heissen sie E_1, E_2, E_3 u. s. f. Die mit ₂ bezeichneten Töne sind um $\frac{1}{5}$ Halbton ($\frac{81}{80}$ Schwingungsverhältniss) tiefer als die mit ₁ bezeichneten, die Töne ₃ hingegen sind um ebensoviel höher.

Der äusserste Ring endlich enthält die Marken für die reine diatonische C-dur-Tonleiter, deren Grundton mit dem temperirten *C* zusammenfallen soll. Wir benennen diese Töne mit den kleinen Buchstaben *c, d, e, f, g, a, h*.

Die Construction wird nun folgendermassen ausgeführt. Wir markiren in dem mittlern Ringe den Ton C_1 an der Stelle des temperirten *C*. Von da aus construiren wir immer nach der Richtung der Pfeile herumgehend. Die erste Quinte ist G_1 um $\frac{1}{60}$ Halbton höher als die temperirte Quinte *G* von *C*, die zweite reine Quinte D_1 ist um $\frac{2}{60}$ Halbton höher als *D*, die dritte E_1 um $\frac{3}{60}$ u. s. f. Die eilfte Quinte F_1 ist um $\frac{11}{60}$ einer Halbtonstufe höher zu machen als *F* und die zwölfte Quinte ist C_3 . Sie fällt um $\frac{12}{60}$ oder $\frac{1}{5}$ Halbton (ein Komma) höher als C_1 oder *C*. Alles dies ist an der Tafel ersichtlich.

Wir erhalten so die sämtlichen mit ₁ bezeichneten Marken im mittlern Ringe und eine mit ₃ bezeichnete C_3 . Jetzt tragen wir in dem äussersten Ringe die reine diatonische Scala auf. Dies gibt die Marken *c* bei C_1 , dann *d* bei D_1 . Die Marke *e* haben wir $\frac{1}{5}$ Halbton tiefer zu stel-

len als die reine Quinte E_1 . So entsteht die Marke e im äussersten und die Marke E_2 im mittlern Ringe. Der Ton f fällt wieder um ein Komma tiefer als F_1 auf die Marke F_2 , g fällt auf G_1 , a auf A_2 , h auf H_2 und die Tonleiter ist vollendet.

Wenn wir nun der Marke C_3 analog auch bei D_1 eine um ein Komma höhere D_3 anbringen und so bei jedem mit $_1$ bezeichneten Tone, wenn wir ferner ebenso den Tönen E_2 , F_2 , A_2 , H_2 analog die übrigen Cis_2 , Dis_2 u. s. w. construiren, so genügen die drei Reihen von Tönen:

$C_1, Cis_1, D_1, Dis_1, \dots$

$C_2, Cis_2, D_2, Dis_2, \dots$

$C_3, Cis_3, D_3, Dis_3, \dots$

vollständig, um für die 12 Grundtöne C_1, Cis_1, D_1, Dis_1 u. s. f. reine diatonische Scalen zu construiren.

Man kann sich hiervon auf sehr einfache Weise überzeugen. Man schneide den äussern Ring aus und drehe ihn um den mittlern durchaus herum. Immer wenn c mit einer der Marken C_1, Cis_1 u. s. f. zusammenfällt, treffen auch die Marken d, e, f, g, a, h auf Marken der drei Reihen $C_1, Cis_1, \dots C_2, Cis_2, \dots C_3, Cis_3, \dots$. Es sind also die reinen Intervalle der diatonischen Scala durch Auswahl aus den drei Tonreihen ausführbar.

Um also durch 12 Tonarten rein spielen zu können, construirt man sich die nöthigen Töne auf folgende Weise. Man schreitet von C aus durch 11 Quinten vor, den so gewonnenen 12 Tönen fügt man 12 andere bei, welche um ein Komma ($\frac{1}{5}$ Halbton) höher, und noch 12 andere, welche um ebenso viel tiefer sind. Von den Tönen $_3$ braucht man übrigens für die diatonischen Scalen bloss C_3 und G_3 .

Wenn man die erwähnte Drehung wirklich ausführt, so findet man auch leicht die Auswahl der Töne, welche für

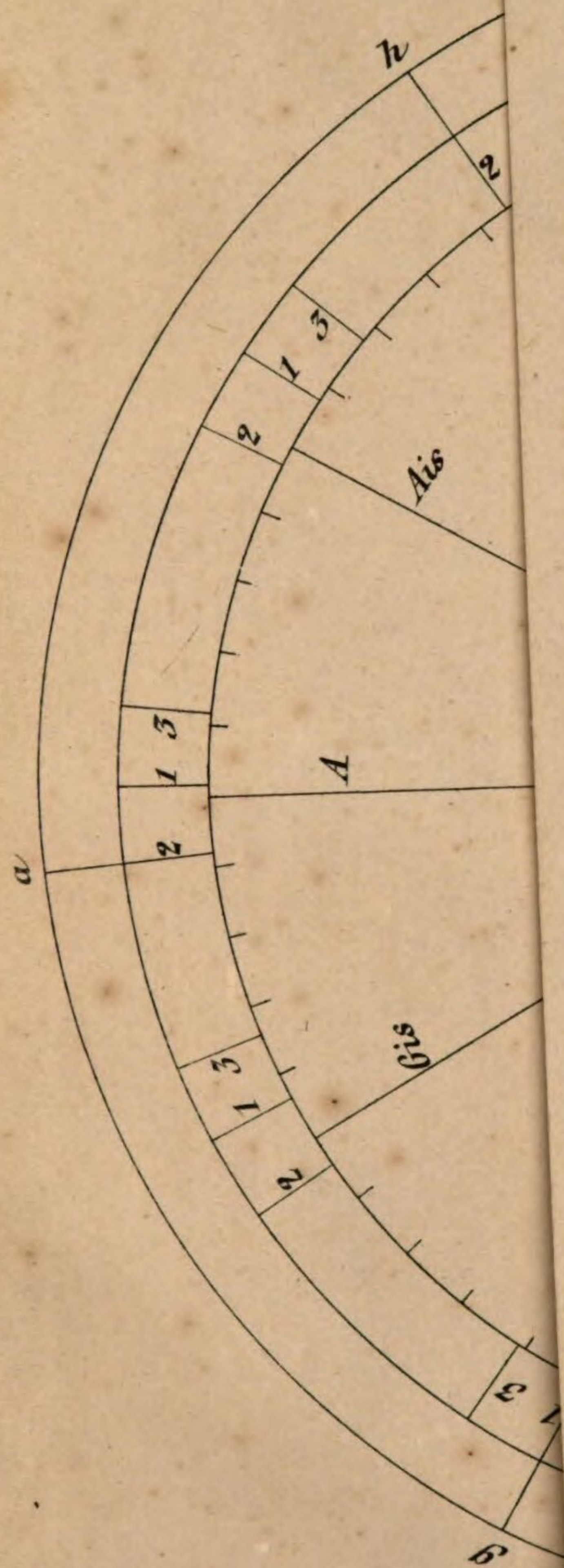
jede Tonart zu treffen ist. An einer Orgel müsste diese Auswahl durch Registerzüge ermöglicht werden, welche gleichzeitig den Windzufluss zu den Pfeifen regeln. — Man lese hierüber nach: Perronet Thompson, *Principles and Practice of Just Intonation, illustrated on the Enharmonic Organ*. 7th Edition. London, 1863.

Die Methode, nach der man die Töne des besprochenen Systems stimmen könnte, wäre eine sehr einfache. Man stimmt die reinen Quinten $C_1—G_1—D_1—A_1—E_1—H_1—Fis_1—Cis_1—Gis_1—Dis_1—Ais_1—F_1$. Die reine Quinte von F_1 ist C_3 . Von C_3 aus könnte man wieder in Quintenschritten weiter gehen und so die Töne $G_3—D_3—$ u. s. w. finden. Die Töne $E_2, H_2, Fis_2, Cis_2, Gis_2$ u. s. w. ergeben sich als reine Terzen der bereits bestimmten Töne C_1, G_1, D_1, A_1 u. s. f.

Ob ein consonantes Intervall, Quinte oder Terz z. B., rein gestimmt sei, erkennt man an den Schwebungen der betreffenden Obertöne. Ist die Stimmung in voller Reinheit hergestellt, so fehlen die Schwebungen.

Viel schwieriger ist eine genau gleichschwebende Temperatur herzustellen. Bei dieser Stimmethode kann man sich nicht auf das blosse Ohr verlassen. Denn das Ohr gibt nur das Vorhandensein der reinen Consonanz zu erkennen, welche eben bei der temperirten Stimmung nicht zur Anwendung kommt.

Am besten wird die temperirte Stimmung nach der Scheibler'schen Methode, die sich auf die Beobachtung der Schwebungen gründet, hergestellt. Näheres darüber findet sich bei Pisko, die neueren Apparate der Akustik. Wien, 1865. S. 144.



Im Verlage von **Leuschner & Lubensky**, k. k. Univers.-Buchhandlung in Graz erschien ferner und ist durch alle Buchhandlungen zu beziehen:

Anonymi Leobensis Chronicon. Nach dem Originale herausgegeben von J. Zahn, k. k. Professor, Archivar und Vorstand des Münz- und Antiken-Cabinetes in Graz. 8°. 50 S. 20 Sgr. = 1 Fl. Oe. W.

Beiträge zur Kunde steiermärk. Geschichtsquellen. Herausgegeben vom histor. Vereine für Steiermark. I. Jahrg. 1864. gr. 8°. 119 S. II. Jahrg. 1865. 142 S. à 1 Thlr. = 1 Fl. 50 Kr. Oe. W.

Heschl, Prof. Dr. Rich. L., Ueber Trichinen, die Trichinenkrankheit und die Schutzmassregeln dagegen. Populäre Vorlesung. Mit einer lithographirten Tafel. 1866. 27 S. 6 Sgr. = 36 Kr. Oe. W.

Mach, Prof. Dr. Ernst, zwei populäre Vorlesungen über musikalische Akustik. 8°. 31 S. 8 Sgr. = 40 Kr. Oe. W.

Mittheilungen des historischen Vereins für Steiermark. Heft 13. 8°. 212 S. 1 Tafel mit 8 Lithographien. 1865. 1 Thlr. 4 Sgr. = 1 Fl. 70 Kr. Oe. W.

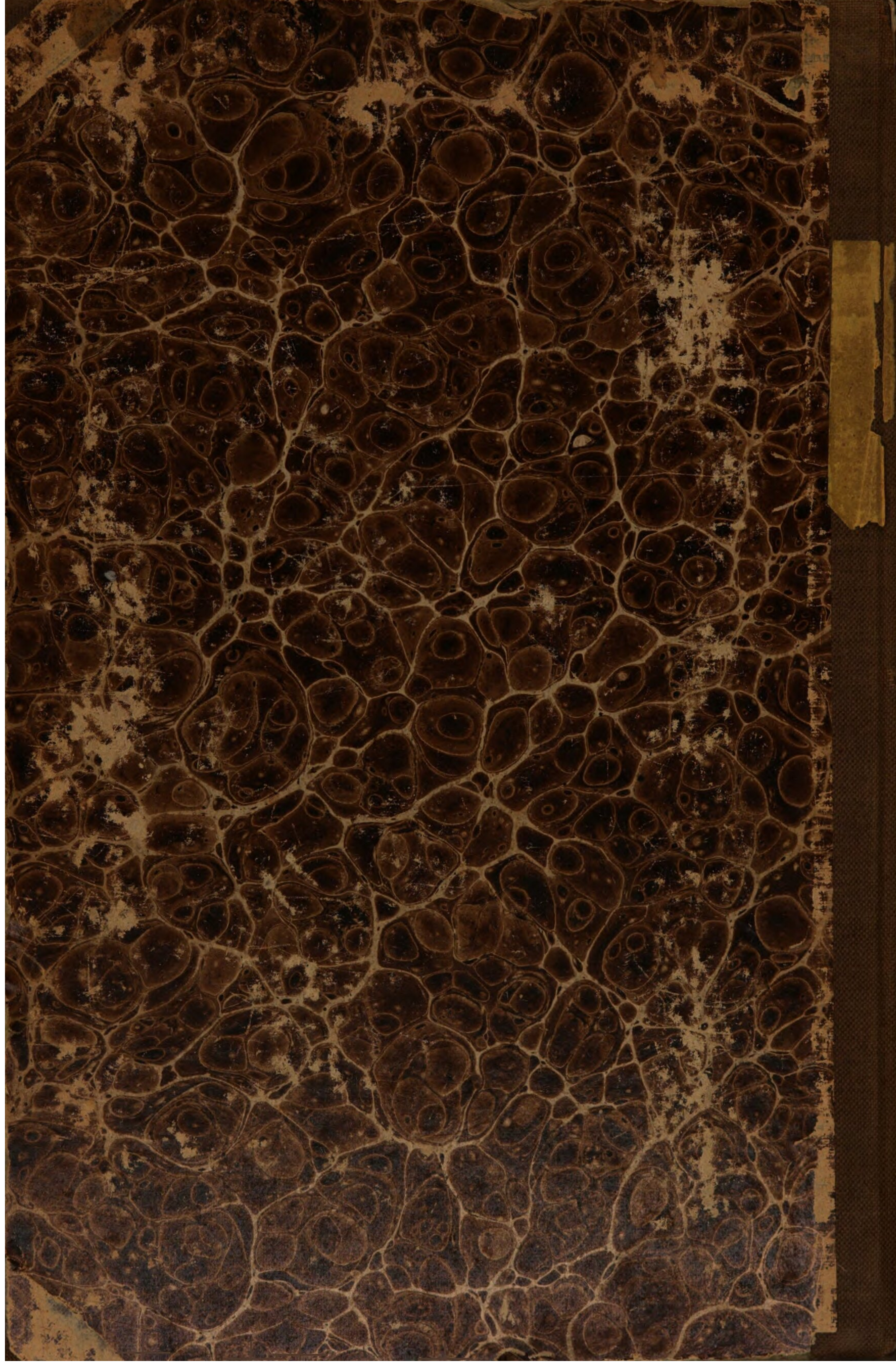
Muchar, Dr. Albert von, weiland Stiftscapitular zu Admont, Geschichte des Herzogthums Steiermark. 8°. Band I—V. 1844—1859. à 1 Thlr. = 1 Fl. 50 Kr. Oe. W. Band VI. 1859. 1 Thlr. 20 Sgr. = 2 Fl. 50 Kr. Oe. W. Band VII. 1864. 1 Thlr. 20 Sgr. = 2 Fl. 50 Kr. Oe. W.

Nahlowsky, Prof. Dr. Jos. W., Zwei Reden paraenetischen Inhalts. 1866. 31 S. 7½ Sgr. = 36 Kr. Oe. W.

Pichler, Dr. Friedr., Repertorium der steir. Münzkunde. I. Bd.: die keltischen und consularen Münzen der Steiermark. Mit einer Einleitung über die Pflege der Numismatik im Lande. 1865. 248 S. und 5 Tafeln Abbildungen. 1 Thlr. 10 Sgr. = 2 Fl. Oe. W.

Schenkl, Prof. Dr. Karl, Werth der Sprachvergleichung für die classische Philologie. Eine Antrittsvorlesung, gehalten an der Universität zu Graz am 18. April 1864. 1864. 24 S. 7½ Sgr. = 36 Kr. Oe. W.

——— **Ueber die Zeusreligion.** Vortrag gehalten im Saale der Ressource am 14. März 1865. 1866. 43 S. 10 Sgr. = 50 Kr. Oe. W.



Mach, Ernst,

Einleitung in die Helmholtz'sche Musiktheorie populär für Musiker
dargestellt

Graz 1866

Mus.th. 2137

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10598965-9